

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Bakalářská práce



Marek Havelka

Optimální varianta zásobování energií rodinného domu v Plané nad Lužnicí

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vitek, CSc.
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Praha
20. května 2022



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Havelka** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **483872**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Optimální varianta zásobování energií rodinného domu v Plané nad Lužnicí

Název bakalářské práce anglicky:

Optimal variant of energy supply to family house in Planá nad Lužnicí

Pokyny pro vypracování:

- 1) Charakteristika spotřeby energie v rodinném domě
- 2) Návrh možných variant zásobování energií
- 3) Vyhodnocení variant z hlediska ekonomické efektivity

Seznam doporučené literatury:

Vítek M.: Ekonomika dopravních systémů energie. Skriptum FEL ČVUT, Praha 2008.
PETRÁŠ, Dušan. Vytápění rodinných a bytových domů. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2005. Vytápění. ISBN 80-807-6020-9

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Miroslav Vítek, CSc. 13116

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **07.09.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2023**

Ing. Miroslav Vítek, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

Podpis autora

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a vyhodnocením nejvýhodnější varianty zásobování energií rodinného domu v Plané nad Lužnicí. Jsou charakterizovány požadavky na otopnou soustavu a na ohřev teplé vody, je vypočítán ztrátový výkon a roční teplo potřebné k vytápění objektu. Dále je proveden průzkum různými variantami vytápění objektu a ohřevu teplé vody. Pomocí ukazatelů ekonomické efektivity je pak vybrána nejvhodnější varianta.

Abstract

This bachelors thesis deals with the design and evaluation of the most advantageous variant of energy supply of a family house in Planá nad Lužnicí. The requirements for the heating system and for water heating are characterized, power dissipation and the annual heat needed to heat the building is calculated. Furthermore, a survey of various variants of building heating and water heating is performed. With the help of economic efficiency indicators, the most suitable variant is then selected.

Obsah

1	Popis uvažovaného objektu	1
2	Půdorys domu	1
2.1	Půdorys sklepních prostor	2
2.2	Půdorys 1. nadzemního podlaží	3
2.3	Půdorys 2. nadzemního podlaží	4
3	Způsob zásobování objektu energií	5
4	Charakteristika spotřeby energie	6
4.1	Spotřeba energie ve sklepních prostorech	6
4.2	Spotřeba energie v 1. nadzemním podlaží	6
4.3	Spotřeba energie ve 2. nadzemním podlaží	7
4.4	Spotřeba energie v prostorech půdy	7
4.5	Spotřeba energie za rok	8
4.6	Denní diagramy zatížení	10
5	Aktuální výdaje na zásobování energií	12
6	Dimenzování otopné soustavy	13
6.1	Informace o topné sezóně	13
6.2	Metoda výpočtu	13
6.3	Výpočet výkonu otopné soustavy	17
6.3.1	Výpočet ztrátového tepelného výkonu obvodovými zdmi bez zateplení	18
6.3.2	Výpočet ztrátového tepelného výkonu obvodovými zdmi se zateplením	20
6.3.3	Výpočet ztrátového tepelného výkonu větráním	21
6.4	Výpočet celkového ztrátového tepelného výkonu	21
6.4.1	Kontrola výpočtu	22
7	Dimenzování systému ohřevu vody	22
8	Přehled variant vytápění objektu	23
8.1	Přehled dotačních programů	24
8.1.1	Dotace na zateplení budovy	24
8.1.2	Dotace na kotle, kamna a tepelná čerpadla	24
8.1.3	Dotace na fotovoltaické systémy	25
8.1.4	Dotace na přípravu TV, fotovoltaický ohřev	25
8.2	Vytápění plynovým kondenzačním kotlem	26
8.3	Vytápění kotlem na pelety	26
8.3.1	Investiční výdaje na peletový kotel	28
8.4	Vytápění tepelným čerpadlem	29
8.4.1	Rozdělení tepelných čerpadel	29
8.4.2	Topný faktor tepelného čerpadla	30
8.4.3	Investiční výdaje na tepelné čerpadlo	30
8.5	Střešní fotovoltaický systém	32
8.5.1	Dimenzování systému fotovoltaických panelů	32
8.5.2	Výpočet kapacity bateriového úložiště	37
8.5.3	Investiční výdaje na pořízení fotovoltaického systému	39
8.6	Zateplení objektu	39

9	Ekonomická efektivnost jednotlivých variant	40
9.1	Metody vyhodnocování	40
9.1.1	NPV	40
9.1.2	RCF	40
9.2	Zateplení objektu	41
9.3	Střešní fotovoltaický systém	41
9.4	Kotel na pelety	41
9.4.1	Vytápění kotlem na pelety, ohřev vody kombinovaným bojlerem, bez fotovoltaického systému a bez zateplení	42
9.4.2	Vytápění kotlem na pelety, ohřev vody kombinovaným bojlerem, s fotovoltaickým systémem, bez zateplení	44
9.4.3	Vytápění kotlem na pelety, ohřev vody kombinovaným bojlerem, bez FV systému, se zateplením	45
9.4.4	Vytápění kotlem na pelety, ohřev vody kombinovaným bojlerem, s FV systémem a zateplením	47
9.5	Tepelné čerpadlo	49
9.5.1	Vytápění zatepleného objektu tepelným čerpadlem bez FV systému	50
9.5.2	Vytápění zatepleného objektu tepelným čerpadlem s FV systémem	51
9.6	Přehled vypočítaných hodnot	52
9.7	Další doporučení ohledně spotřeby energie	53
10	Závěr	53

1 Popis uvažovaného objektu

Uvažovaný rodinný dům se nachází v Jihočeském kraji, okrese Tábor, obci Planá nad Lužnicí, adrese Údolní 251. Nadmořská výška lokality je 413.5 m. n. m. Dům je hlavním vchodem orientován na severozápad.



Obrázek 1: Uvažovaný objekt

Rodinný dům je rozdělen do následujících částí:

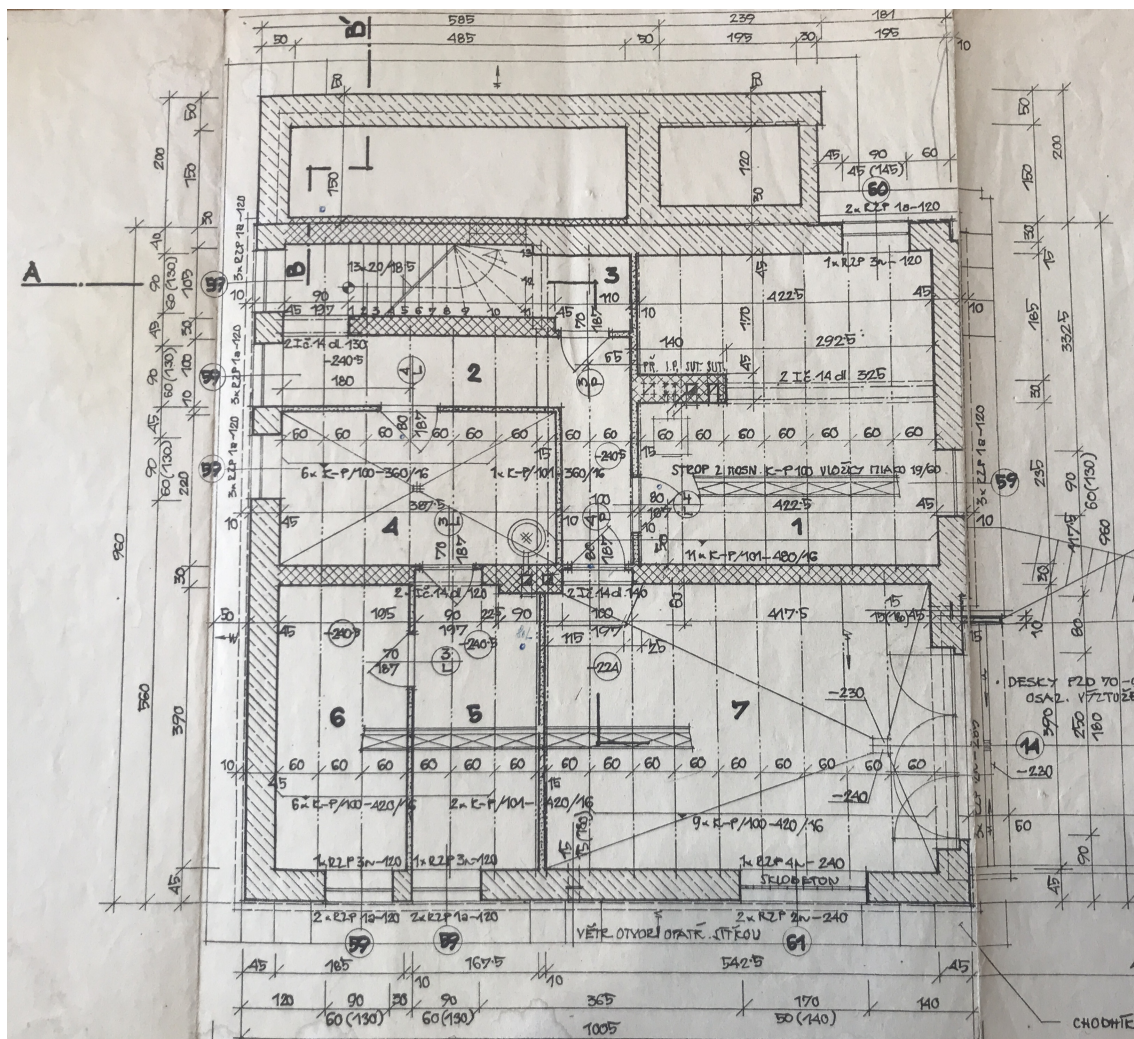
1. Sklepní prostory - nejsou centrálně vytápěné, patří mezi ně kotelna, garáž, dílna, sklep, prádelna a chodba.
2. 1. nadzemní podlaží - skládá se z bytové jednotky, chodby a schodiště
3. 2. nadzemní podlaží - skládá se z bytové jednotky, venkovního balkonu a schodiště
4. Půda

2 Půdorys domu

Samotná stavba domu vychází z původních plánů projekční kanceláře OSP Benešov. Dům byl z praktických důvodů postaven zrcadlově, oproti tomu, co je v plánech nakresleno.

Dům není zateplen, střecha je lehkého provedení (eternitové šablony) bez jakékoliv izolace. Okna jsou plastová, dvojitě prosklená. Výška stropu je potom v každém obytném podlaží (1. a 2.) 2.5 metru, ve sklepních prostorech potom 2.1 metru.

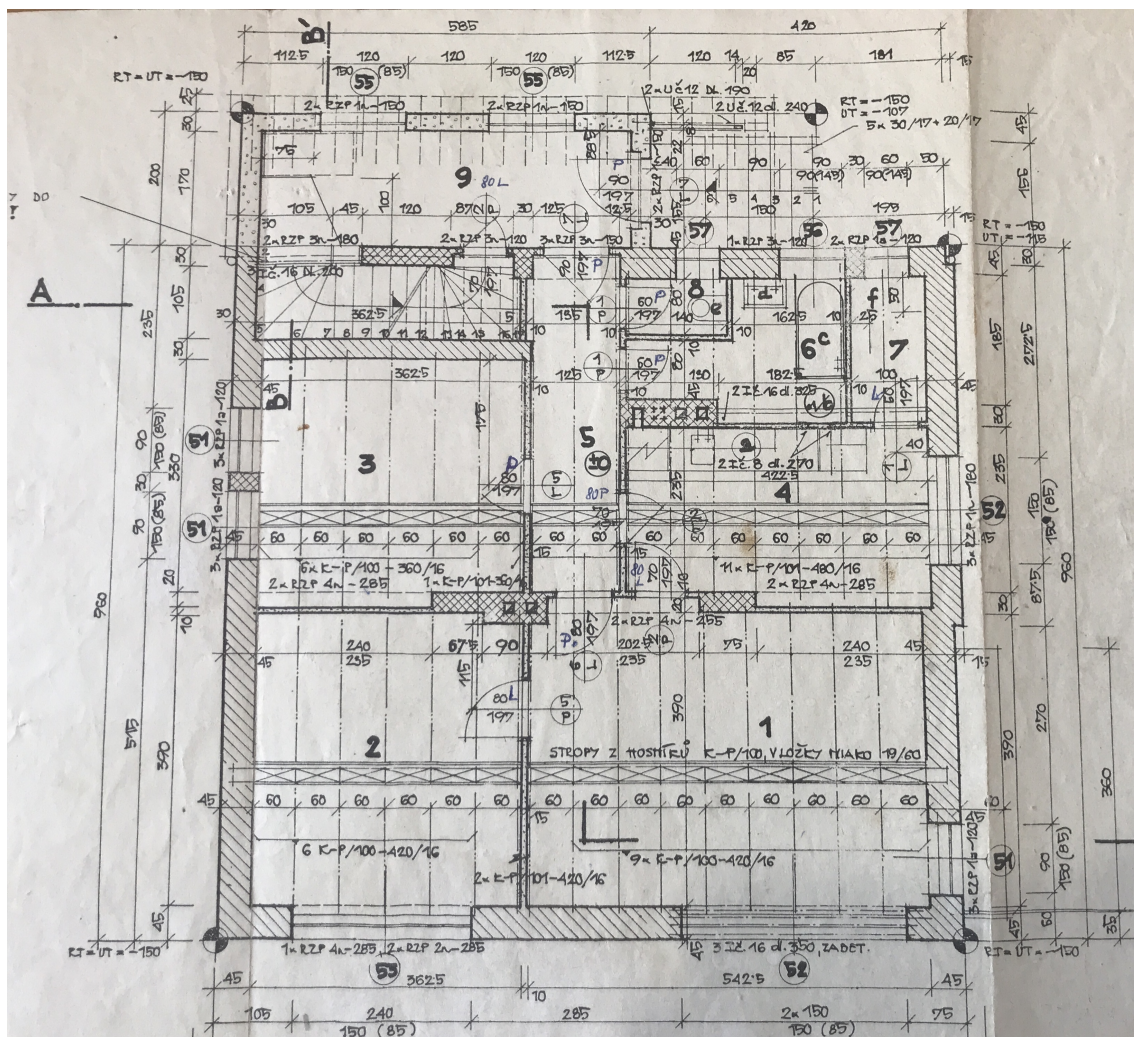
2.1 Půdorys sklepních prostor



Obrázek 2: Půdorys sklepních prostor

Legenda k plánu		
Číslo	Účel místnosti	Výměra [m ²]
1	Centr. topidlo	18.42
2	Chodba	8.49
3	Sklep zel.	3.90
4	Prádelna	8.53
5	Náradí zahr.	7.33
6	Techn. sklad	7.21
7	Garáž	22.56

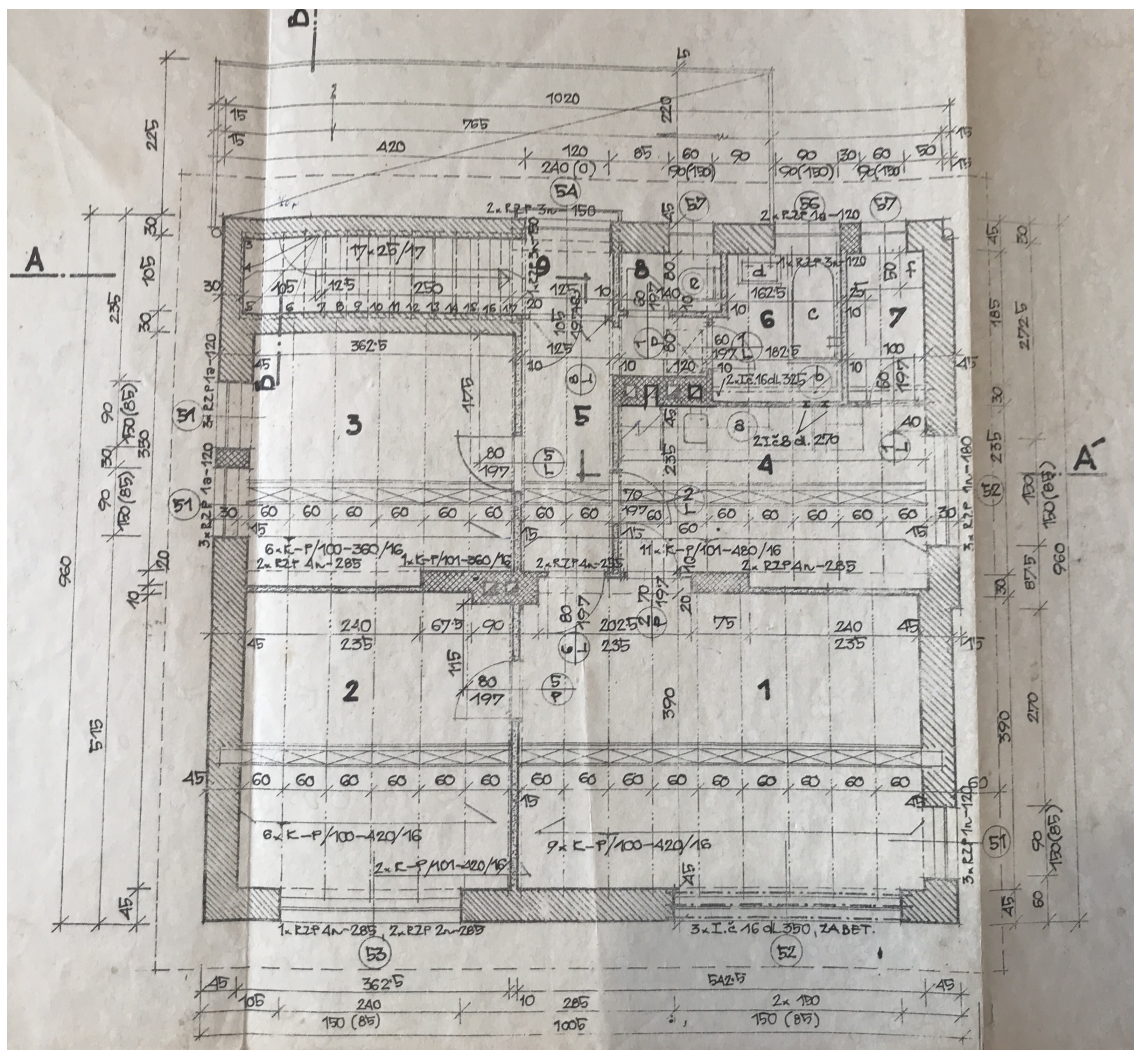
2.2 Půdorys 1. nadzemního podlaží



Obrázek 3: Půdorys 1. podlaží

Legenda k plánu		
Číslo	Účel místnosti	Výměra [m ²]
1	Obýv. pokoj	22.53
2	Ložn. rodičů	14.5
3	Ložn. dětí	12.6
4	Kuchyně	10.55
5	Předsíň	6.15
6	Lázeň	4.58
7	Spíž	2.05
8	WC	1.12
9	Veranda	9.07

2.3 Půdorys 2. nadzemního podlaží



Obrázek 4: Půdorys 2. podlaží

Legenda k plánu		
Číslo	Účel místnosti	Výměra [m ²]
1	Obýv. pokoj	22.53
2	Ložn. rodičů	14.5
3	Ložn. dětí	12.6
4	Kuchyně	10.55
5	Předsíň	4.38
6	Lázeň	3.56
7	Spíž	2.05
8	WC	1.12
9	Schod. podesta	1.5

3 Způsob zásobování objektu energií

Jako zdroj vytápění slouží kotel na hnědé uhlí s automatickým podávacím systémem. Jedná se o čtyřlankový kotel VIADRUS U22 4C pro vytápění rodinných domů a menších podniků.

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hmotnost	kg	268
Objem vodního prostoru	l	36.2
Objem spalovací komory	l	47
Výkon kotle	kW	23.3
Účinnost kotle	%	75 - 80

Tabulka 1: Vybrané parametry kotle VIADRUS U22 4C [16]

Tento způsob vyžaduje každodenní čištění od popela, trvající 20 minut a jednou za zhruba 3 dny doplnění uhlí do zásobníku, což je činnost trvající 10 minut. Celkem tedy kotel vyžaduje 2.7 hodin práce týdně, za topnou sezónu 96.6 hodin práce. V roce 2018 byla provedena revize kotle a instalace automatického podavače uhlí. Životnost kotle s litinovým tělesem je stanovena na 20 let od data revize.



Obrázek 5: Kotel se zásobníkem

Jako občasný zdroj vytápění v dílně slouží kamna na dřevo. Tento zdroj vytápění vyžaduje přípravu a skladování palivového dřeva, přikládání a pravidelné čištění pokaždé, když jsou kamna v provozu. Lze usoudit, že na 3 hodiny topení v kamnech je potřeba celkem 40 minut obsluhy (po započítání času na štípání, skladování a přenášení dřeva). V dílně je nutno v topné sezóně topit třikrát týdně. Za topnou sezónu (250 dnů) tedy kamna vyžadují 71 hodin obsluhy a zhruba 1 m³ palivového dřeva.

Ohřev vody je zajištěn elektrickým bojlerem o objemu 200l, který je nastaven na teplotu 70 °C. Díky tomuto způsobu ohřevu vody spadá dům do tarifu D25d. Tento způsob ohřevu vody je velmi nenáročný na obsluhu. Bojler je již na hranici své životnosti.

Pro vaření se používají dvě plynové lahve (10kg náplně), pro každé patro jedna. Obsluha tohoto systému představuje výměnu náplně na nejbližší stanici. Pro byt v 1. nadzemním podlaží je výměna nutná každý rok. Pro byt ve 2. nadzemním podlaží je nutná výměna každých 180 dní. Výměna plynové lahve trvá 1 hodinu. Dle [18] je účinnost ohřevu nádoby s vodou na plynové plotně zhruba 50%, tudíž ne všechna energie uvolněná z plynové lahve je využita na vaření. Po výpočtu celkové energie uvolněné z lahve pomocí výhřevnosti plynu sníženou o účinnost ohřevu lze získat, že tento způsob zásobování energií pro vaření spotřebuje 538 kWh energie a 3 hodiny práce ročně.

Ve 2. nadzemním podlaží je na toaletě instalován elektrický teplovzdušný ventilátor o výkonu 2 kW. V provozu je každý den v topné sezóně, přičemž na plný výkon pracuje zhruba půl hodiny denně. Za rok tedy spotřebuje 250 kWh energie.

4 Charakteristika spotřeby energie

4.1 Spotřeba energie ve sklepních prostorech

Ve sklepních prostorech není spotřeba energie deterministicky charakterizovatelná. Jediným prostorem, který je nutno občasně vytápět je dílna. Zde jsou instalována kamna na dřevo, která dokáží momentální potřebu vytápění po dobu činnosti v dílně zajistit.

Dále se ve sklepním prostoru nachází kotelná, ve které se nachází sklad uhlí, elektrický bojler na ohřev teplé vody (dále jen TV) a kotel na uhlí s automatickým podavačem. Systém vytápění je realizován teplovodním okruhem bez cirkulačního čerpadla s litinovými radiátory.

Jediným elektrickým spotřebičem ve sklepních prostorech, který je pravidelně používán, je automatická pračka.

Název spotřebiče	Výrobce	Příkon spotřebiče [W]
Automatická pračka	Bosch	2200
Stojanová bruska	ELK	2500
Elektrický bojler	Dražice	2200
Svítlidla	-	66

Tabulka 2: Seznam spotřebičů ve sklepních prostorech

4.2 Spotřeba energie v 1. nadzemním podlaží

V 1. podlaží domu se nachází nevytápěná chodba a bytová jednotka. Bytovou jednotku v aktuální situaci obývá 1 osoba důchodového věku. Bytová jednotka je vytápěna teplovodním systémem na teplotu 22 °C, spotřeba teplé vody je pravidelná a pohybuje se obvykle kolem 40l denně. Za účelem vaření se používá kombinovaný sporák se dvěma elektrickými, dvěma plynovými plotýnkami a elektrickou horkovzdušnou troubou. Zdrojem plynu pro vaření je vlastní plynový zásobník, který je nutně jednou ročně doplnit.

Název spotřebiče	Výrobce	Příkon spotřebiče [W]
Robotický vysavač	Tesla	800
Kombinovaný sporák	Mora	4000
Televize	Samsung	150
Televize	Philips	70
Notebook	Acer	80
Nabíječka na telefon	Xiaomi	5
Lednice	Whirlpool	100
Rychlovarná konvice	ETA	2000
Svítilna	-	70

Tabulka 3: Seznam spotřebičů v 1. nadzemním podlaží

4.3 Spotřeba energie ve 2. nadzemním podlaží

Ve druhém nadzemním podlaží se nachází bytová jednotka. Ta je v aktuální době obývána jedním pracujícím a dvěma středoškoláky. Jednotka je vytápěna teplovodním systémem na teplotu 22°C. V prostoru toalety je umístěn teplovzdušný ventilátor, používaný v topné sezóně. Spotřeba teplé vody se pohybuje kolem 100l denně. Teplá voda se používá na mytí nádobí pod tekoucí vodou, uklízení a mytí. Za účelem vaření je používán kombinovaný sporák se 4 plynovými plotýnkami a elektrickou horkovzdušnou troubou. Zdrojem plynu pro vaření je vlastní plynový zásobník (odlišný od toho, který je používán v 1. nadzemním podlaží), který je nutno jednou za 180 dní doplnit.

Název spotřebiče	Výrobce	Příkon spotřebiče [W]
Vysavač	Miele	1800
Lednice	Whirlpool	150
Stolní počítač	-	500
Kombinovaný sporák	Mora	3000
Televize	Philips	80
Notebook	Dell	100
Nabíječky na telefon	-	15
Teplovzdušný ventilátor	ETA	2000
Rychlovarná konvice	Philips	2000
Mikrovlnná trouba	Samsung	1500
Svítilna	-	80

Tabulka 4: Seznam spotřebičů ve 2. nadzemním podlaží

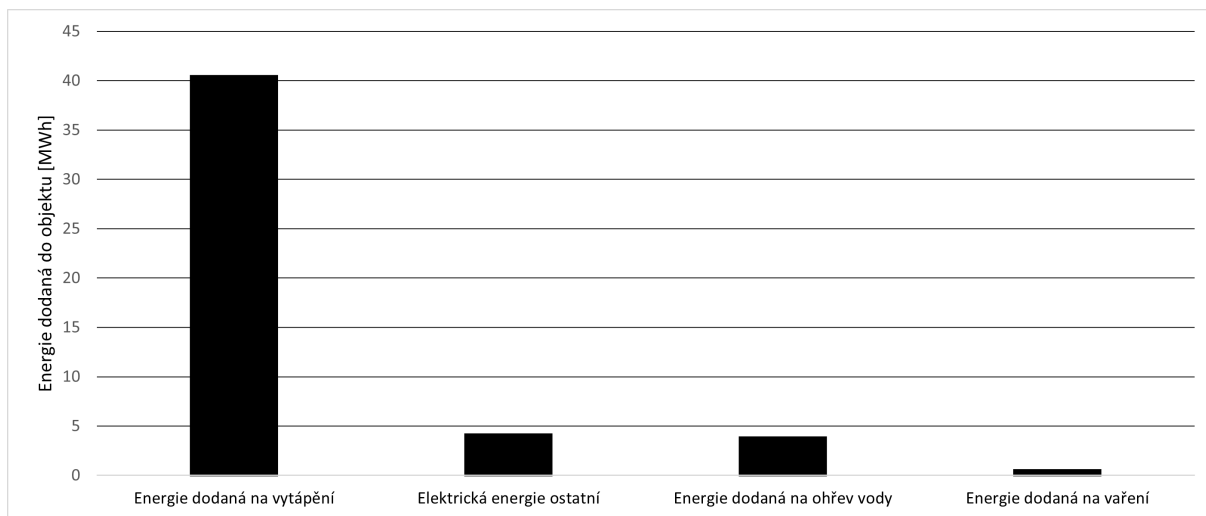
4.4 Spotřeba energie v prostorech půdy

Ve třetím nadzemním podlaží se nachází nevytápěná půda, která se využívá k sušení prádla a uskladnění věcí. Jedinou spotřebu energie zde představuje nutné svícení.

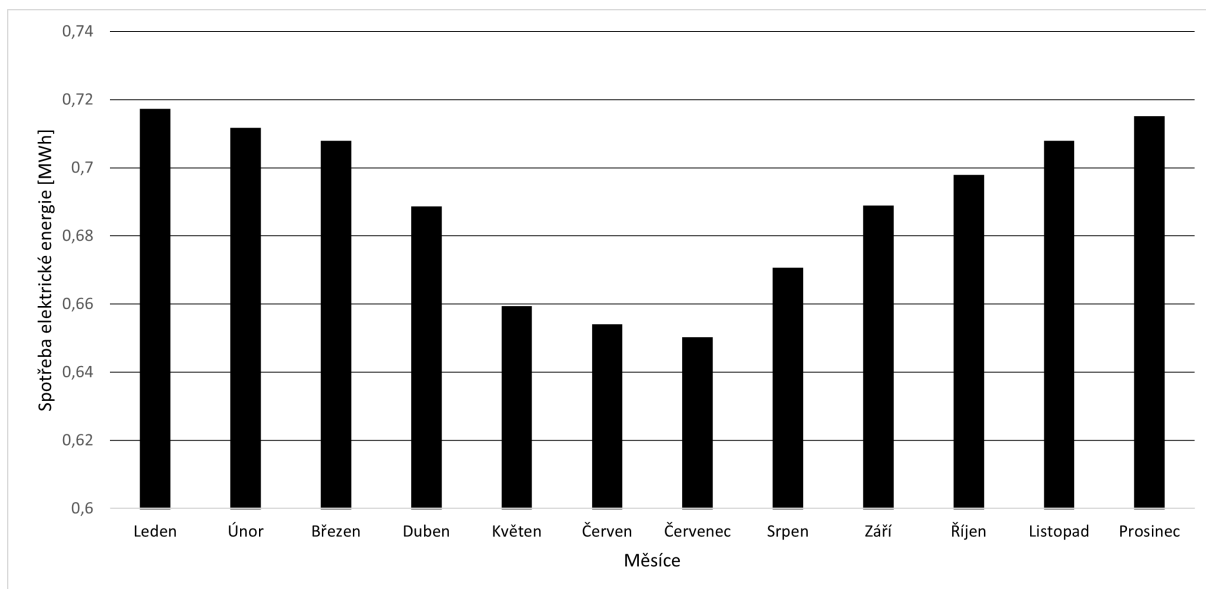
Název spotřebiče	Výrobce	Příkon spotřebiče [W]
Svítilna	-	13

Tabulka 5: Seznam spotřebičů v prostorech půdy

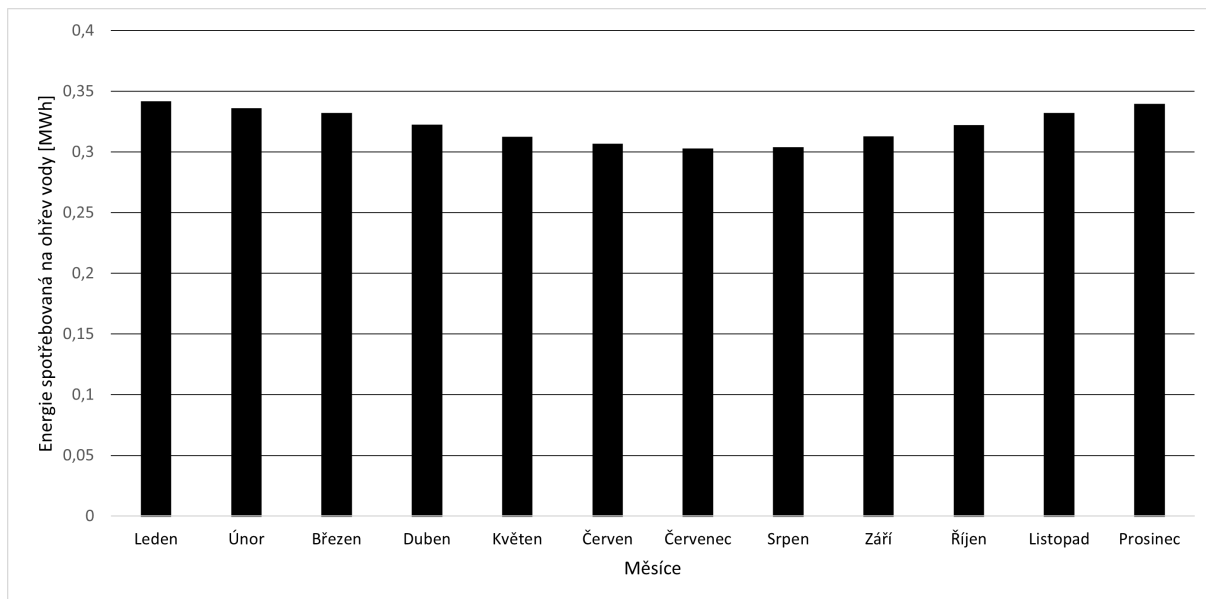
4.5 Spotřeba energie za rok



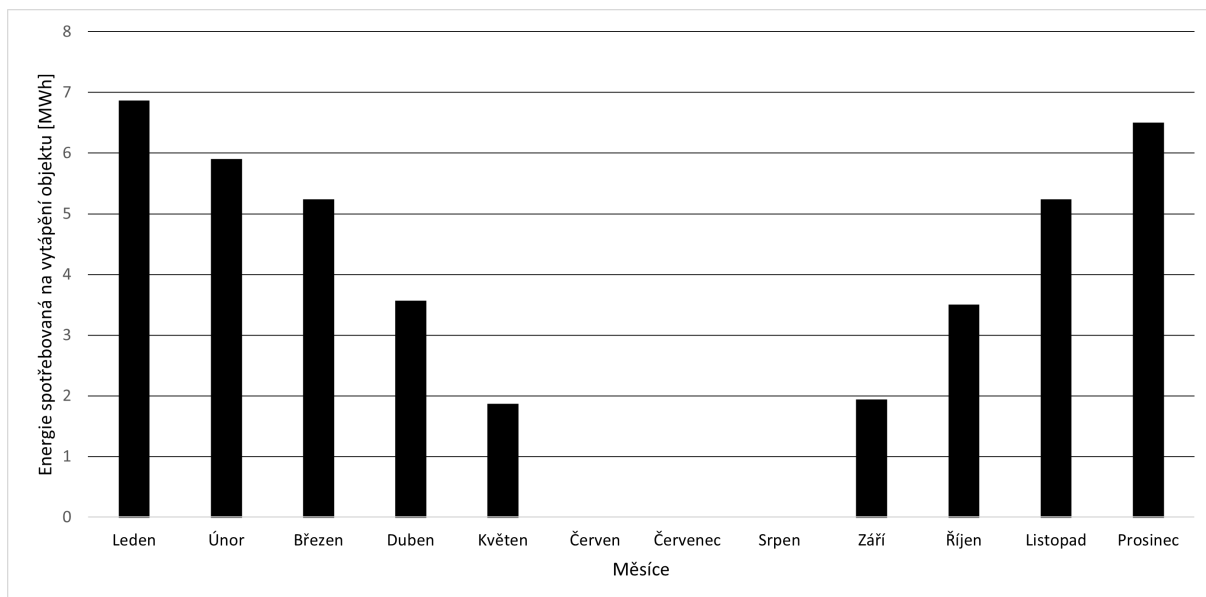
Obrázek 6: Graf celkové roční spotřebované energie v rodinném domě



Obrázek 7: Graf průběžné měsíční spotřeby elektrické energie v rodinném domě



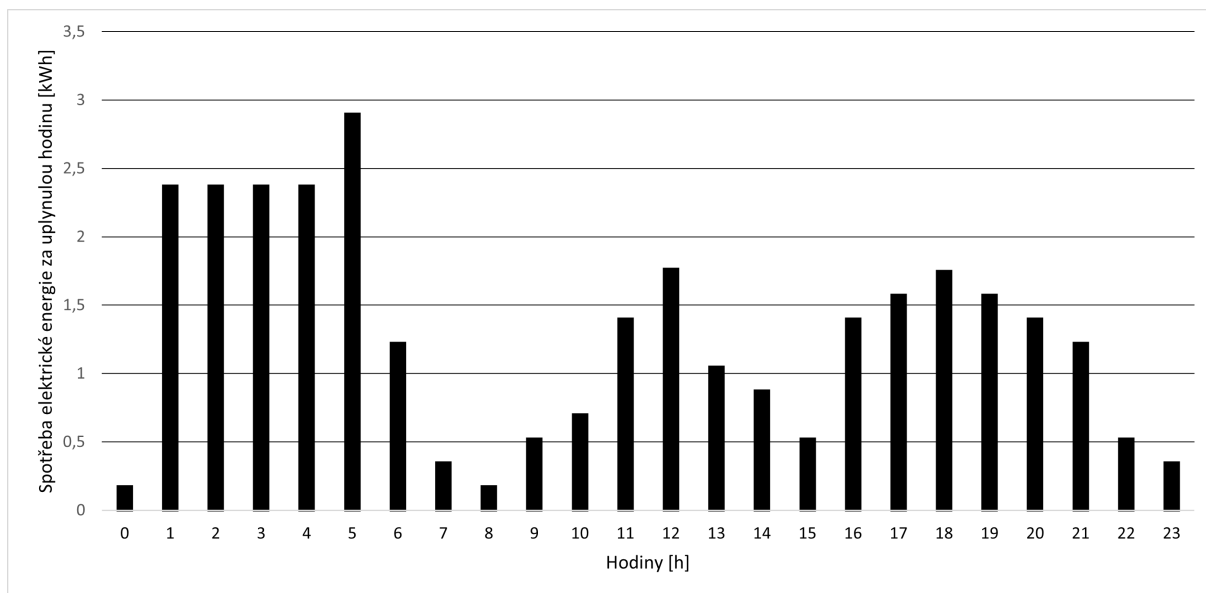
Obrázek 8: Graf průběžné měsíční spotřeby energie na ohřev vody v rodinném domě



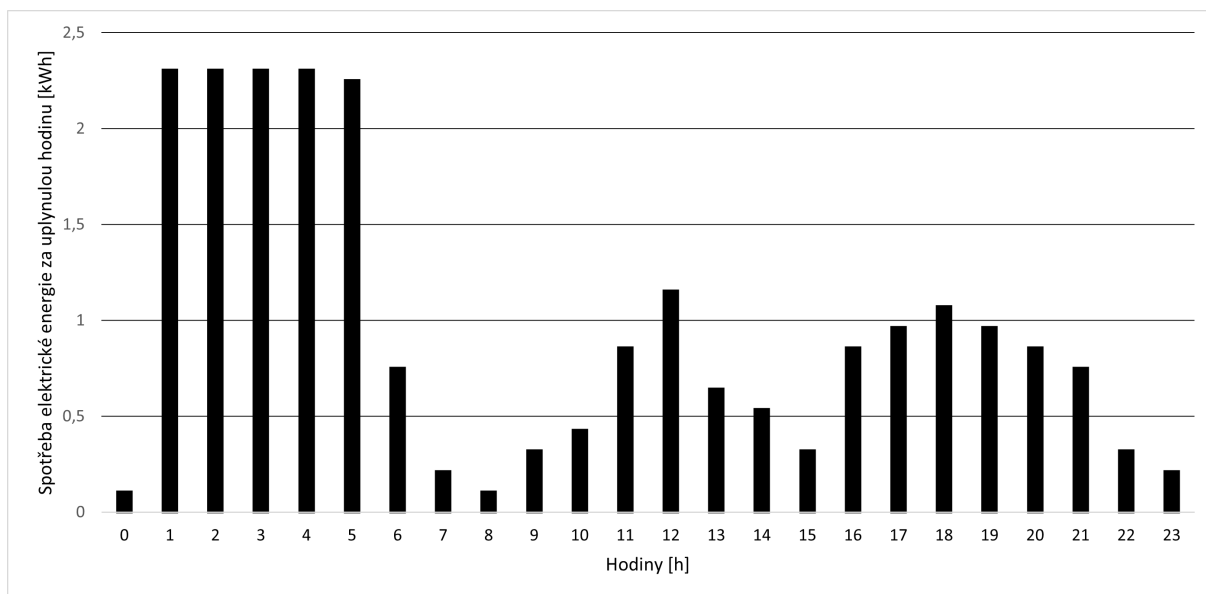
Obrázek 9: Graf průběžné měsíční spotřeby energie na vytápění rodinného domu

4.6 Denní diagramy zatížení

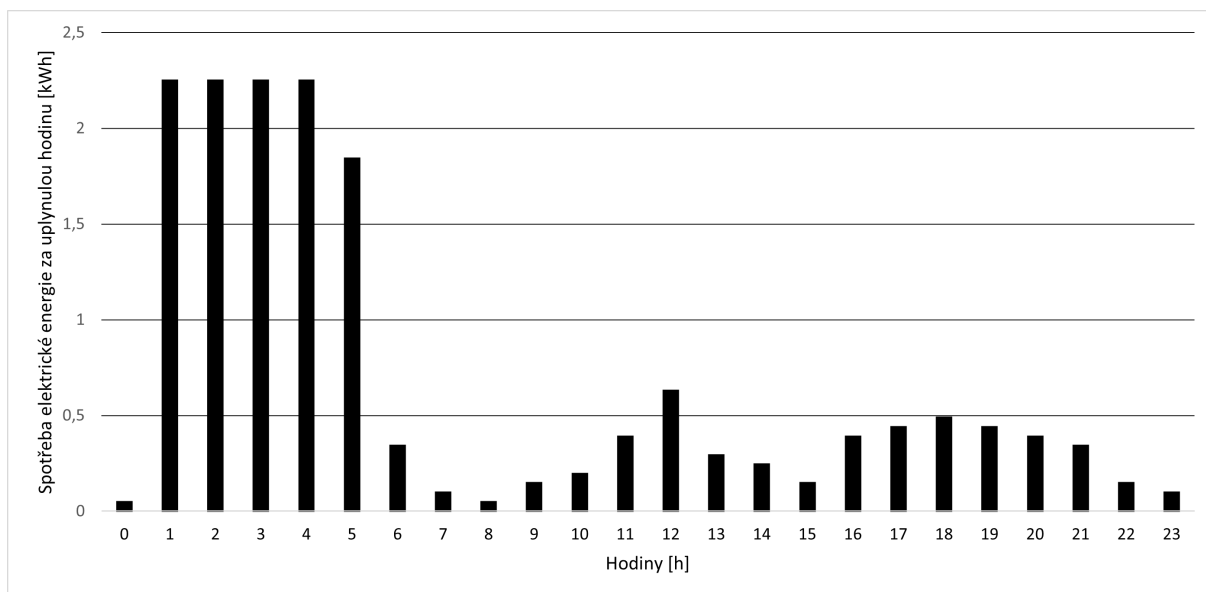
Pro uvažovaný objekt byly stanoveny pomocí znalosti způsobu vytápění, ohřevu vody, vaření a chování jeho obyvatel následující denní diagramy zatížení:



Obrázek 10: Denní diagram zatížení pro zimní období



Obrázek 11: Denní diagram zatížení pro období přechodu (jaro, podzim)



Obrázek 12: Denní diagram zatížení pro letní období

Z denních diagramů zatížení je patrný ohřev vody elektrickým bojlerem, který spíná v čase nízkého tarifu (zde uvažováno 1:00 až 6:00 a 12:00 až 15:00), tedy 8 hodin denně. Rozložení doby sepnutí hromadného dálkového ovládání se může přes rok měnit, stejně jako se může měnit i hodina sepnutí.

Dále je z diagramů patrné chování obyvatel objektu. Zvýšená spotřeba po 5. ranní hodině je způsobena používáním rychlovarné konvice společně se sepnutím elektrického bojleru. V období oběda je zvýšená spotřeba způsobena ohřevem jídla a občasným používáním elektrické trouby. Večer je pak zvýšená spotřeba způsobena používáním teplovzdušného ventilátoru, televizoru a počítače, případně pračky.

5 Aktuální výdaje na zásobování energií

Zásobování teplem - palivem pro kotel (hnědé uhlí) již řadu let zajišťuje firma JAMBOR - Uhelné sklady, s. r. o. Průměrná roční spotřeba palivového uhlí je 9t, přičemž aktuální cena uhlí od dodavatele činí 510 Kč/q, vč. daně. Spalné teplo tohoto paliva činí 20.19 [MJ/kg] [7].

Zásobování elektrickou energií zajišťuje firma E.ON, která je pro tuto oblast dodavatelem poslední instance. Tito dodavatelé mají oproti ostatním (menším) dodavatelům obvykle méně výhodné ceníky pro spotřebitele, nicméně je potřeba vzít v úvahu, že v době vypracování tohoto dokumentu proběhlo ukončení činnosti největšího "malého" dodavatele, Bohemia Energy. Tato skutečnost způsobila nemalé problémy pro koncové odběratele, kterým mimo jiné nepříznivě prospěla i roční doba - začátek topné sezóny. Zálohy za energie byly tak nastaveny u DPI velmi vysoko a překročily tak finanční možnosti spousty odběratelů [8].

Díky akumulárnímu prvku (použití elektrického bojleru pro ohřev teplé vody), spadá rodinný dům do tarifu D25d. Přesněji se jedná o produkt Aku, produktovou řadu ElektřinaTrend a ceník ElektřinaTrend DUBEN 2020. Následující výňatek z vyúčtování zobrazuje přehled spotřeby energie v rodinném domě:

Výpočet platby za dodávku elektřiny (jednotky v Kč jsou uvedeny bez DPH)								
Název položky	Období od	do	Jednotka	Počet jednotek	Cena za jednotku (Kč)	Cena celkem bez DPH (Kč)		
Produkt dodávky: Aku Produktová řada: ElektřinaTrend s ceníkem ElektřinaTrend DUBEN								
Dodané množství vysoký tarif	21.08.2020	31.12.2020	MWh	1,122	2 414,00	2 708,51		
Dodané množství nízký tarif	21.08.2020	31.12.2020	MWh	1,936	1 400,00	2 710,40		
Stálý plat	21.08.2020	19.08.2021	Měsíc	11,968	74,00	885,63		
Dodané množství vysoký tarif	01.01.2021	19.08.2021	MWh	1,911	2 414,00	4 613,15		
Dodané množství nízký tarif	01.01.2021	19.08.2021	MWh	3,297	1 400,00	4 615,80		
Daň z elektřiny	21.08.2020	19.08.2021	MWh	8,266	28,30	233,93		
Celkem za dodávku elektřiny (součet plateb za dodávku, plateb za stálé platy a daně z elektřiny)						15 767,42		
Výpočet platby za související služby v elektroenergetice (jednotky v Kč jsou uvedeny bez DPH)								
Název položky	Období od	do	DI sazba	Jistič (A)	Jednotka	Počet jednotek	Cena za jednotku (Kč)	Cena celkem bez DPH (Kč)
Cena za distrib. množství elektřiny ve vysokém tarifu	21.08.2020	31.12.2020	D25d		MWh	1,122	1 826,14	2 048,93
	01.01.2021	19.08.2021	D25d		MWh	1,911	1 771,30	3 384,95
Cena za distrib. množství elektřiny v nízkém tarifu	21.08.2020	31.12.2020	D25d		MWh	1,936	140,85	272,69
	01.01.2021	19.08.2021	D25d		MWh	3,297	147,89	487,59
Cena za příkon podle hodnoty hl. jističe před elekt.	21.08.2020	31.12.2020	D25d	3x21	Měsíc	4,355	129,00	561,80
	01.01.2021	19.08.2021	D25d	3x21	Měsíc	7,613	131,00	997,30
Pevná cena za systémové služby	21.08.2020	31.12.2020	D25d		MWh	3,058	77,12	235,83
	01.01.2021	19.08.2021	D25d		MWh	5,208	93,30	485,91
Cena za činnosti operátora trhu	21.08.2020	31.12.2020	D25d		Měsíc	4,355	5,08	22,12
	01.01.2021	19.08.2021	D25d		Měsíc	7,613	3,91	29,77
Složka ceny na podporu el. z podpor. zdrojů energie	21.08.2020	31.12.2020	D25d		MWh	3,058	495,00	1 513,71
	01.01.2021	19.08.2021	D25d		MWh	5,208	495,00	2 577,96
Celkem za související služby v elektroenergetice						12 618,56		
Celkem za dodávku elektřiny a související služby v elektroenergetice v Kč bez DPH						28 385,98		

Obrázek 13: Detail vyúčtování spotřeby elektrické energie

6 Dimenzování otopné soustavy

Ačkoliv je v domě již teplovodná otopná soustava instalována, je z ekonomického hlediska žádoucí provést jednoduchý orientační výpočet, který dokáže určit, zda při aktuální konfiguraci nebude postačovat vytápěcí jednotka o nižším výkonu, než má aktuálně instalovaný kotel na uhlí.

6.1 Informace o topné sezóně

Z dostupných dat o roční průměrné teplotě a délky topné sezóny je možné zjistit následující údaje pro lokalitu Tábor:

Lokalita	Nadmořská výška	t_e	t_{es}	Délka topné sezóny
Tábor	480 m. n. m.	-15 °C	3.5 °C	250 dnů

Tabulka 6: Základní informace o topné sezóně pro danou lokalitu [9]

6.2 Metoda výpočtu

Přesnost výpočtu ztrátového výkonu není ve své podstatě až tak zásadní z pohledu horního maxima výpočtu. Moderní kotle s termostaty jsou schopny samy velmi dobře regulovat svůj výkon tak, aby v obývaném prostoru udržovaly tepelnou pohodu (například pomocí metody ekvitermní regulace). Co ovšem zásadní vliv na přesnost má, je minimální hodnota, kterou výpočet může navrhnout.

Při výpočtu maximální ztráty tepelného výkonu bude brána v potaz norma ČSN EN 12831. Otopná soustava musí být dimenzována na vyšší hodnotu ztrátového tepelného výkonu, než je nejvyšší hodnota ztrátového tepelného výkonu, kterého je stavba schopna dosáhnout. Ten je pak získán pomocí teploty nejchladnějšího dne v roce, výpočtem prostupem tepla stavbou a dle ČSN EN 12831 také ztrátou větráním. Postup výpočtu maximální tepelné ztráty podle normy ČSN EN 12831 je následující [2]:

1. Stanovení základních údajů - výpočet venkovní teploty, výpočet průměrné roční venkovní teploty
2. Určení každého prostoru budovy - vytápěný, nevytápěný (vč. teploty)
3. Stanovení rozměrových vlastností a tepelných vlastností všech stavebních částí pro každý vytápěný a nevytápěný prostor
4. Výpočet návrhových tepelných ztrát prostupem - návrhový součinitel tepelné ztráty násobený návrhovým rozdílem teplot
5. Výpočet návrhových tepelných ztrát větráním - návrhový součinitel tepelných ztrát větráním násobený návrhovým rozdílem teplot
6. Výpočet celkové tepelné ztráty - návrhová tepelná ztráta prostupem + návrhová tepelná ztráta větráním
7. Výpočet zátopového výkonu - dodatečný výkon pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění
8. Výpočet návrhového celkového tepelného výkonu - celkové návrhové tepelné ztráty + zátopový výkon

Následující tabulka uvádí přehled nejdůležitějších veličin, které se ve vzorcích normy ČSN EN 12831 objevují:

Θ	...	teplota [°C]
Φ	...	tepelná ztráta, výkon [W]
H	...	součinitel tepelné ztráty [$W \cdot K^{-1}$]
U	...	součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Q	...	množství tepla [J]
Θ_o	...	výsledná teplota [°C]
Θ_{int}	...	výpočtová vnitřní teplota [°C]

Tabulka 7: Základní přehled veličin [2]

Vnitřní výpočtovou teplotou se má na mysli teplota uvnitř místnosti ve výšce 0.6 - 1.6 m. Z požadavků na zajištění tepelné pohody nabízí norma následující hodnoty:

Druh budovy/prostoru	Θ_{int} [°C]
obývací místnosti, pracovny, kuchyně, klobzety	20
koupelny	24
vytápěné vedlejší místnosti (předsíně, chodby)	15
vytápěná schodiště	10

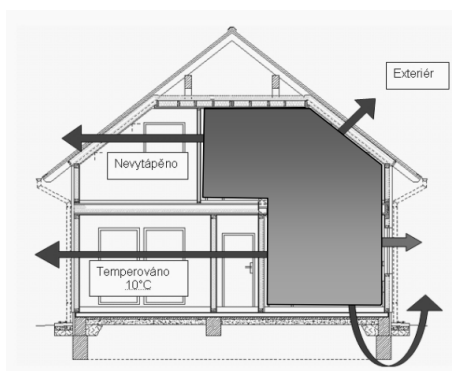
Tabulka 8: Obvyklá teplota místností [2]

Výpočet celkových tepelných ztrát se provádí následujícím způsobem [2]:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [W] \quad (1)$$

kde je:

- Φ_i ... celková navrhovaná tepelná ztráta [W]
- $\Phi_{T,i}$... návrhová tepelná ztráta prostupem tepla [W]
- $\Phi_{V,i}$... návrhová tepelná ztráta větráním [W]



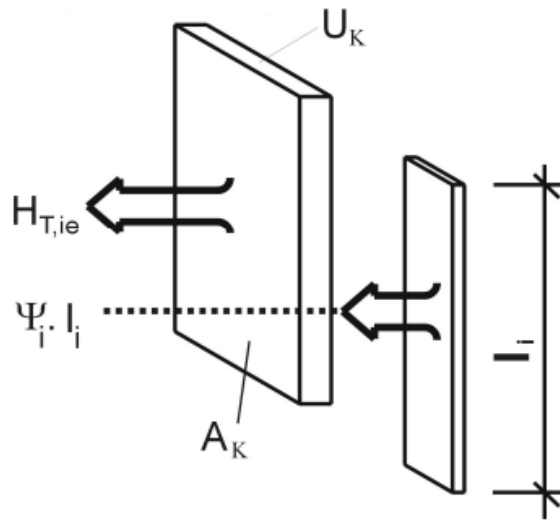
Obrázek 14: Celkové tepelné ztráty [2]

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla je určena pomocí celkového součinitele tepelných ztrát prostupem a rozdílu teplot interiéru a exteriéru [2]:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) \quad [W] \quad (2)$$

kde je:

- int* ... vnitřní prostor
- i* ... vytápěný prostor
- e* ... vnější, venkovní prostor
- u* ... nevytápěný prostor
- g* ... zemina, půda
- j* ... vytápěný prostor (na výrazně jinou teplotu)



Obrázek 15: Tepelné ztráty prostupem [2]

Součinitel prostupu tepelných ztrát do exteriéru je určen jako [2]:

$$H_{T,ie} = \sum_K A_K \cdot U_K \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3)$$

kde je:

- A* ... obalová plocha místnosti [m^2]
- U* ... součinitel prostupu tepla obalovou plochou [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

Norma ČSN EN 12831/Z1 udává minimální intenzitu výměny venkovního vzduchu za hodinu [h^{-1}], což je číslo, které udává převrácenou hodnotu času nutnou k výměně veškerého vzduchu v daném prostoru. Pro obývací pokoje, ložnice, chodby a další běžně užívané místnosti je definován koeficient 0.5. Pro koupelny, kuchyně a další prostory se zvýšeným výskytem vodních par a nežádoucích plynů je tento koeficient 1.5. Například pro obývací pokoj tato skutečnost znamená, že jednou za 2 hodiny by měl být vyměněn všechen vzduch v uvažované místnosti. Následující tabulka je výňatkem z normy ČSN EN 12831 [2].

Druh místnosti	n_{min} [h^{-1}]
Obytná místnost (základní)	0.5
Kuchyně, nebo koupelna s oknem	1.5
Kancelář	1.0
Zasedací místnost, školní třída	2.0

Tabulka 9: Hygienické minimum větrání [2]

Po výpočet tepelné ztráty větráním poskytuje norma ČSN EN 12831 zjednodušený výpočet, který zahrnuje také infiltraci obvodovým pláštěm a větrání nucenými otvory ve zdivu (komíny, větrací systémy) [2]:

$$\Phi_{V,i} = 0.34 \cdot V_i \cdot n_{min} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) \quad [W] \quad (4)$$

kde je:

- $\Phi_{V,i}$... tepelná ztráta větráním [W]
- $\Theta_{int,e}$... vnitřní a vnější teplota [$^{\circ}C$]
- n_{min} ... hygienické minimum pro větrání [h^{-1}]
- V_i ... objem i-té místnosti [m^3]

6.3 Výpočet výkonu otopné soustavy

Výpočet otopné soustavy vychází z dat, která jsou uvedena v sekci 2 - půdorys domu. Postupuje dle již zmíněných vzorců z normy ČSN EN 12831 [2]. Ve výpočtu nebude zohledněn tepelný zisk, protože jeho hodnota je v porovnání se ztrátami tak nepatrná, že zásadním způsobem neovlivní výsledek. Tepelný zisk je vhodné určovat u nízkoenergetických, nebo pasivních budov. Ve výpočtu také nebude bráno v potaz přerušované vytápění, protože teplovodná otopná soustava má akumulární charakter.

Výpočtová data o sklepních prostorech				
Číslo místnosti	Výměra [m^2]	A [m^2]	V [m^3]	n_{min} [h^{-1}]
1	18.42	9.45	38.68	0.5
2	8.49	2.10	17.83	0.5
3	3.90	10.19	8.19	0.5
4	8.53	4.62	17.91	0.5
5	7.33	3.51	15.39	0.5
6	7.21	3.89	15.14	0.5
7	22.56	19.57	47.37	0.5

Ve sklepních prostorech nebude počítáno s větráním. Vytápění dílny bude prováděno dle potřeby.

Výpočtová data o 1. nadzemním podlaží				
Číslo místnosti	Výměra [m^2]	A [m^2]	V [m^3]	n_{min} [h^{-1}]
1	22.53	52.85	47.31	0.5
2	14.50	35.30	30.45	0.5
3	12.60	8.25	26.46	0.5
4	10.55	5.88	22.16	1.5
5	6.15	3.13	12.92	0.5
6	4.58	4.05	9.62	1.5
7	2.05	7.16	4.31	0.5
8	1.12	3.50	2.35	0.5
9	9.07	24.63	19.05	0.5

První nadzemní podlaží je aktivně obýváno, bude se s ním tedy zacházet jako s větraným prostorem, a to dle normy.

Výpočtová data o 2. nadzemním podlaží				
Číslo místnosti	Výměra [m^2]	A [m^2]	V [m^3]	n_{min} [h^{-1}]
1	22.53	52.85	47.31	0.5
2	14.50	35.30	30.45	0.5
3	12.60	8.25	26.46	0.5
4	10.55	5.87	22.15	1.5
5	4.38	3.00	9.20	0.5
6	3.56	4.55	7.48	1.5
7	2.05	7.13	4.31	0.5
8	1.12	3.50	2.35	0.5
9	1.50	6.13	3.15	0.5

Druhé nadzemní podlaží je taktéž obývaný prostor, a proto u něj budou započítány tepelné ztráty větráním standardním způsobem.

6.3.1 Výpočet ztrátového tepelného výkonu obvodovými zdi bez zateplení

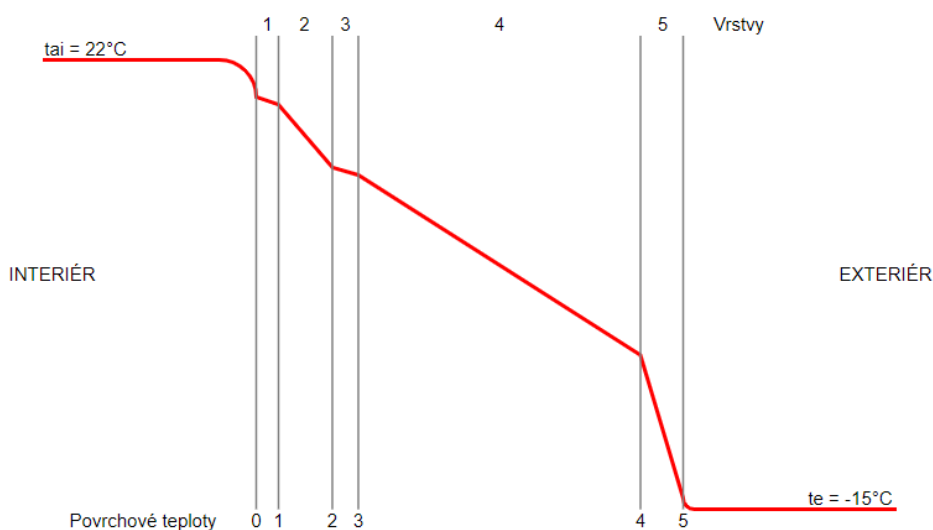
Pro přesný výpočet tepelného ztrátového výkonu obvodovými zdi je nutná přesná znalost použitých stavebních materiálů v obvodové zdi a jejich fyzikálních (tepelných) vlastností.

Obvodová zeď uvažovaného rodinného domu má celkovou tloušťku 50 cm a skládá se z vnitřní vápenné omítky, cihel KMB PROFIBLOK 65, cementové malty, škvárobetonových tvárnic a vnější tepelně izolační perlitové omítky. Vlastnosti nutné pro výpočet tepelné propustnosti lze zjistit z následující tabulky:

Materiál	d [cm]	$\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
Omítka vápenná	2.5	0.880
KMB PROFIBLOK 65	6.5	0.299
Malta vápenocementová	3.0	0.970
Škvárobetonové tvárnice	33.0	0.520
Omítka perlitová	5.0	0.100

Tabulka 10: Tepelné vlastnosti použitého zdiva [14]

Prostup tepla touto konstrukcí lze interpretovat vizualizací poskytnutou přímo při výpočtu tepelných vlastností zdiva:



Obrázek 16: Prostup tepla nezateplenou obvodovou zdí [14]

Součinitel prostupu tepla touto konstrukcí je $U_{zdivo} = 0.63 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. Pro výpočet celkového součinitele prostupu tepla je nutno zahrnout do výpočtu koeficient prostupu tepla okny. Tuto informaci je možné získat od výrobce oken, v tomto případě OTHERM, přičemž model okna je EFEKT. Součinitel prostupu tepla pro tento typ okna je $U_k = 1.1 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ [12].



Obrázek 17: (a) Škvárobetonová tvárnice [13], (b) Struktura okna EFEKT [12]

Celková obalová plocha domu činí 482.4 m^2 , z čehož 32.6 m^2 představují okna. Odpovídající součinitel prostupu tepla obalovou plochou je pro tuto konstrukci:

$$U_K = \frac{A_{zdiva} \cdot U_{zdiva} + A_{oken} \cdot U_{oken}}{A_{celkove}} = \frac{449.8 \cdot 0.63 + 36.2 \cdot 1.1}{482.4} = 0.67 \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Součinitel tepelné ztráty prostupem pro tuto konstrukci je určen z rovnice 3 jako:

$$H_K = \sum U_i A_i = 0.67 \cdot 482.4 = 323.2 \quad [W \cdot K^{-1}]$$

Čemuž z rovnice 2 odpovídají tepelné ztráty prostupem tepla obvodovými zdmi:

$$\Phi_{T,zdmi} = H_{K,zdmi} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) = 323.2 \cdot (22 - (-15)) = 11.958 \quad [kW]$$

Z důvodu nalezení optimální varianty energetického zásobování domu je vhodné provést kalkulaci při zateplení domu. Nejčastějším způsobem zateplení domu je zateplení expandovaným pěnovým polystyrenem. Vyrábí se stlačením polystyrenových perlí o průměru dle použití (od 0.6 až do cca 3 mm) a nese označení EPS a číslem, které vyjadřuje normálové napětí v kPa při jeho 10% stlačení. Pro stavební účely se používá EPS 70 až EPS 150. Do stavebních konstrukcí se používá samozhášivý EPS, obsahující tzv. retardéry hoření, způsobující, že při odstranění zdroje hoření materiál sám uhasne [15].

Expandovaný pěnový polystyren se dodává v několika tloušťkách a provedení. Mezi hlavní představitele patří "bílý" a "šedý" polystyren, který vznikl vylepšením tepelných vlastností klasického "bílého" polystyrenu, u kterého se podařilo omezit přenos tepla sáláním uvnitř materiálu. Šedý polystyren je vytvořen příměsí grafitu, který omezuje optickou propustnost v pásmu kolem $10 \mu m$. Pro porovnání vlastností obou polystyrenů slouží následující tabulka [15]:

Tloušťka izolace [cm]	Tepelný odpor [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	
	bílý EPS	šedý EPS
2	0.51	0.61
8	2.08	2.42
10	2.56	3.03
15	3.85	4.55

Tabulka 11: Vlastnosti různých provedení EPS [15]

6.3.2 Výpočet ztrátového tepelného výkonu obvodovými zdi se zateplením

Aby bylo možné získat na zateplení domu dotaci v co nejvyšším rozsahu, je vhodné zateplení navrhnout tak, aby vyhovovalo normě ČSN 73 0540-2:2011, která pro obvodové zdi stanovuje následující kritéria:

Požadovaná hodnota U	Doporučená hodnota U	Pro pasivní budovy
0.3 [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	0.25 [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	0.18 - 0.12 [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

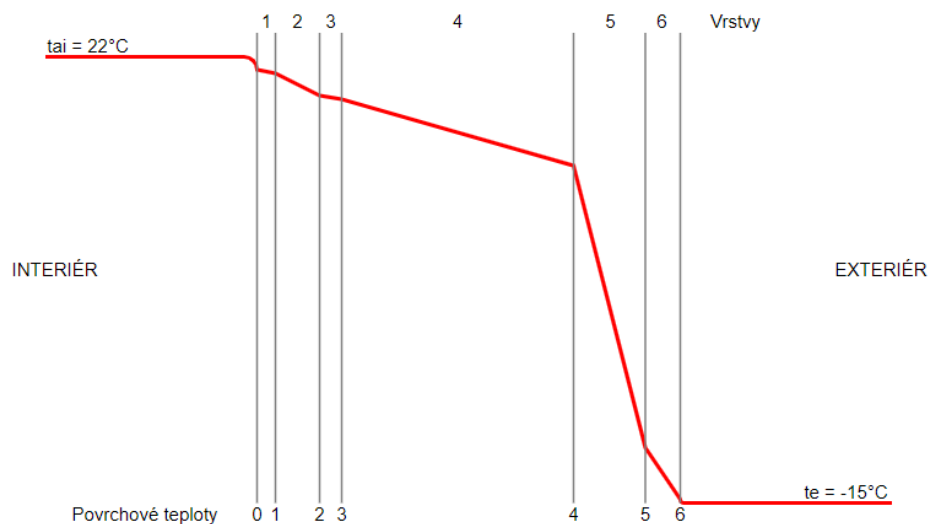
Tabulka 12: Požadavky na obvodové zdi [14]

Doporučené hodnoty lze dosáhnout použitím standardního bílého pěnového polystyrenu o tloušťce 10 cm vyhovujícího normě ČSN 64 3510. Přidáním polystyrenu pak lze získat následující složení obvodové zdi:

Materiál	d [cm]	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
Omítka vápenná	2.5	0.8800
KMB PROFIBLOK 65	6.5	0.2990
Malta vápenocementová	3.0	0.9700
Škvárobetonové tvárnice	33.0	0.5200
Polystyren pěnový	10.0	0.0037
Omítka perlitová	5.0	0.1000

Tabulka 13: Tepelné vlastnosti použitého zdiva [14]

Touto konstrukcí bude procházet teplo následujícím způsobem:



Obrázek 18: Prostup tepla zateplenou obvodovou zdí [14]

Z obrázku je patrné, že největší tepelný spád nastává právě na materiálu 5, což je izolační vrstva z pěnového polystyrenu. To znamená, že pěnový polystyren má oproti ostatním materiálům velmi dobrou izolační schopnost, neboť tepelné spády ostatních vrstev jsou oproti spádu na polystyrenu téměř zanedbatelné. Zateplená obvodová zeď má součinitel tepelné propustnosti $U = 0.23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, což je nižší než doporučená hodnota dle ČSN 73 0540-2:2011.

Celková obalová plocha domu činí $482.4 \text{ [m}^2\text{]}$, z čehož $32.6 \text{ [m}^2\text{]}$ představují okna. Odpovídající součinitel tepelné propustnosti se vypočítá jako:

$$U_K = \frac{A_{zdiva} \cdot U_{zdiva} + A_{oken} \cdot U_{oken}}{A_{celkove}} = \frac{449.8 \cdot 0.23 + 36.2 \cdot 1.1}{482.4} = 0.297 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Součinitel tepelné ztráty prostupem pro tuto konstrukci je určen z rovnice 3 jako:

$$H_K = \sum U_i A_i = 0.297 \cdot 482.4 = 143.27 \quad [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Čemuž z rovnice 2 odpovídají tepelné ztráty prostupem tepla obvodovými zdmi:

$$\Phi_{T,zdmi} = H_{K,zdmi} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) = 143.27 \cdot (22 - (-15)) = 5.301 \quad [\text{kW}]$$

6.3.3 Výpočet ztrátového tepelného výkonu větráním

Výpočet ztrát větráním vychází z rovnice 4. Celý uvažovaný objekt je obýván přerušovaně - jednou pracující osobu, dvěma studenty a osobou důchodového věku. Z tohoto důvodu bude uvažovaná ztráta větráním snížena koeficientem 0.4, neboť pokud objekt nikdo neobývá, je zbytečné a ekonomicky neefektivní větrat a zároveň objekt vytápět.

$$\Phi_{V,i} = 0.34 \cdot V_i \cdot n_{min} \cdot (\Phi_{int} - \Phi_{ext}) = 0.34 \cdot 487.9 \cdot 0.625 \cdot (22 - (-15)) = 1536 \quad [\text{W}]$$

Hodnoty pro tento výpočet byly získány z tabulek uvedených na začátku kapitoly 6.3. Uvažovaná teplota je nejnižší v roce, dle dat pro danou lokalitu tedy -15°C . Hodnota hygienického minima větrání byla získána váženým průměrem hygienického minima větrání pro jednotlivé místnosti, přičemž váhou byl rozuměn objem místnosti.

6.4 Výpočet celkového ztrátového tepelného výkonu

Výpočet celkového ztrátového výkonu pro nejchladnější den v roce vychází z výpočtových údajů o topné sezóně pro danou lokalitu uvedenou v kapitole 6.1. Celkový ztrátový tepelný výkon lze vypočítat z rovnice 1 jako:

$$\Phi_i = \Phi_T + \Phi_V = 11958 + 1536 = 13494 \quad [\text{W}]$$

A pro zateplený objekt pak:

$$\Phi_i = \Phi_T + \Phi_V = 5301 + 1536 = 6837 \quad [\text{W}]$$

Z čehož lze usoudit, že kotel je těžce naddimenzován. Tato skutečnost je patrně zapříčiněna faktem, že v minulosti sloužil kotel i k ohřevu TV. Tato praktika je navíc u starších objektů běžná.

6.4.1 Kontrola výpočtu

Aktuální spotřeba uhlí na otopnou sezónu činí 9t ročně. Palivo má dle výrobce výhřevnost 20.19 MJ/kg [7]. Kotel pracuje při teplotním spádu 60/40°C. Výrobce kotle uvádí účinnost kotle při spalování uhlí 75 až 80%. Je bráno v potaz, že při nižším teplotním spádu mají tepelné stroje vyšší účinnost, tudíž je vhodné počítat s hodnotou účinnosti 80%. Celkové teplo, které kotel přemění za topnou sezónu lze vypočítat jako:

$$Q = 9000 \cdot \frac{20.19}{3.6} \cdot 0.8 = 40.38 \quad [MWh]$$

Pro výpočet celkové energie dodané do objektu za účelem vytápění je nejdříve nutné vypočítat sezónní tepelný ztrátový výkon objektu pomocí výpočtové teploty získané z údajů o topné sezóně:

$$\Phi_i = \Phi_T + \Phi_V = H_K \cdot (\Theta_i - \Theta_e) + 0.34 \cdot V_i \cdot n_i \cdot (\Theta_i - \Theta_e) =$$

$$323.3 \cdot (22 - 3.5) + 0.34 \cdot 487.5 \cdot 0.625 \cdot (22 - 3.5) = 6747 \quad [W]$$

Energie, kterou je poté potřeba ročně dodat do objektu za účelem jeho vytápění se pak vypočítá jako:

$$Q = t_{PocetHodinTopneSezony} \cdot \Phi = 250 \cdot 24 \cdot 6747 = 40.485 \quad [MWh]$$

Vypočítaná hodnota energie dodané do objektu na vytápění je o 0.26% větší, než hodnota získaná výpočtem přímé přeměny palivového uhlí na teplo v kotli. Tato skutečnost je zapříčiněna faktem, že do vytápění objektu přispívá i teplovzdušný ventilátor instalovaný ve 2. nadzemním podlaží využívaný v topné sezóně. Lze tedy konstatovat, že výsledek výpočtu je správný.

7 Dimenzování systému ohřevu vody

V domě je denně spotřebováno 140l vody o teplotě 75 °C. Při průměrné roční teplotě vody 10 °C, je pak potřeba dodat vodě ročně teplo o hodnotě:

$$Q = t_{PocetDniVRoce} \cdot m \cdot c \cdot \Delta\Theta = 365 \cdot 140 \cdot 4180 \cdot (75 - 10) = 3.856 \quad [MWh]$$

Aktuální zásobník TV má dostatečnou kapacitu a je schopen pokrýt denní spotřebu TV uvažovaného objektu.

8 Přehled variant vytápění objektu

V dnešní době jsou již poměrně rozvinuté systémy přeměny energie z obnovitelných zdrojů (biomasa, sluneční energie, energie větru, energie vody) na energii elektrickou. Tyto systémy (např. fotovoltaické panely, malé větrné elektrárny, kogenerační stanice) dokáží snížit nákup energie z cizích zdrojů (dodavatel elektrické energie, plynu, atd) a tím i zvýšit nezávislost celého systému. Z tohoto důvodu se tyto systémy používají při tzv. "offgridových" aplikacích, to znamená pro ostrovní soustavy, které nemají možnost připojit se na soustavu plynu, případně elektriny.

V blízkosti domu se nachází plynová přípojka, ke které je možné se připojit po realizaci výkopu na zahradě a zavedení plynového rozvodu do prostorů kotelny, případně do obou kuchyní, pokud by výpočet prokázal, že se tato varianta jeví jako ekonomicky efektivní. Situace na trhu s plynem je však v současné době velmi nejistá.

Dalším faktorem, který příznivě nahrává rozmanitosti možností vytápění je přítomnost nedaleké trafostanice, což umožňuje zvýšení hodnoty hlavního jističe bez jakýchkoliv komplikací s distributorem elektrické energie.

V aktuální době město Planá nad Lužnicí spolupracuje s firmou C-Energy Planá s. r. o. na výstavbě systému horkovodů v oblasti Strkov, který umožní vytápění přímo z energie blízké teplárny. Tento projekt je bohužel pouze ve fázi plánování, tudíž ceník této služby není zatím zveřejněn, takže není možno s tímto způsobem zásobování teplem v této práci počítat.

Dle zákona 201/2012 Sb. - o ochraně ovzduší a související předpisy v jeho původním znění nemělo být po 01. 09. 2022 možné provozovat kotle na tuhá paliva mající nižší než 3. emisní třídu dle normy ČSN EN 303-5 [19]. Díky vysoké inflaci a zvýšení cen energií v letech 2021 a 2022 [20] však vláda tento termín posunula o 2 roky na 01. 09. 2024 a zvýšila příspěvek na tepelná čerpadla o 50 000 Kč. Díky nejistotě dodávek zemního plynu také Ministerstvo životního prostředí vyjmul z dotačního programu "Nová zelená úsporám" plynové kondenzační kotle a tepelná čerpadla s plynovým pohonem. Tato skutečnost má mimo jiné za cíl snížit energetickou závislost České republiky na ruském plynu.

Po shrnutí všech možností připojení k veřejným soustavám je zcela jisté, že pro dům nepřipadá v úvahu počítat s ostrovním systémem. Mimo jiné i z toho důvodu, že tyto systémy zásobování energie jsou obvykle mnohem dražší jak po stránce provozních nákladů, tak po stránce pořizovacích nákladů, než systémy, které počítají s připojením na síť.

Mezi varianty zásobování energií, které je vhodné v této situaci uvažovat jsou:

1. Vytápění tepelným čerpadlem zajišťujícím i ohřev TV. Tato varianta bude možná pouze v kombinaci se zateplením, přičemž je u této varianty možné instalovat střešní fotovoltaický systém.
2. Kotel na biomasu s automatickým zásobníkem na pelety, který zajišťuje i ohřev TV, ve variantách se střešním fotovoltaickým systémem a zateplením.

8.1 Přehled dotačních programů

K 05. 05. 2022 byly vypsané nové podmínky k dotačnímu titulu "Nová zelená úsporám", kterou zaštiťuje Ministerstvo životního prostředí České republiky [21]. Tento dotační titul zahrnuje i rekonstrukce starších staveb (u kterých bylo o stavební povolení požádáno před 01. 07. 2013).

8.1.1 Dotace na zateplení budovy

Výše této dotace se odvíjí od kvality provedeného zateplení. Zateplením se rozumí zateplení fasády, výměna starých oken za nová, izolace stropů a podlah a izolace střechy. Pokud je provedeno jen jedno z těchto opatření, jedná se o zateplení dílčí. Při provedení jakékoliv kombinace dvou možností se jedná o zateplení základní a při provedení všech opatření se jedná o zateplení komplexní. V tomto případě se v této práci tedy hovoří o zateplením dílčím - pouze zateplení fasády. Výše dotace je v takovém případě 600 až 3800 Kč za metr čtvereční v závislosti na kvalitě provedeného zateplení [21].

Na základě faktu, že termín kvalita provedeného zateplení není nikde na webových stránkách specifikován, bude tato práce počítat s nejnižší možnou dotací, nebo dotací v takové výši, kterou garantuje odborná firma realizující zateplení objektu.

8.1.2 Dotace na kotle, kamna a tepelná čerpadla

Jedná se o dotaci na výměnu kotlů na pevná paliva, která spadají do emisní třídy 3. a nižší a lokálních topidel využívaných jako hlavní zdroj tepla. Dotaci lze také využít při změně elektrického vytápění na tepelné čerpadlo a vztahuje se i na příslušenství a zapojení kotle, či tepelného čerpadla do otopné soustavy. Výše podpory je v tomto případě následující:

Varianta zdroje tepla	Podpora [tis. Kč]
Kotel na biomasu vč. akumulární nádrže/se samočinnou dodávkou paliva	80
Kotel na biomasu se samočinnou dodávkou paliva a celosezónním zásobníkem pelet	100
Tepelné čerpadlo s teplovodním systémem vytápění a přípravou teplé vody	100
Tepelné čerpadlo s teplovodním systémem vytápění bez přípravy teplé vody	80
Tepelné čerpadlo pro teplovodní systém vytápění s přípravou teplé vody připojené k FV systému	140
Napojení na soustavu zásobování teplem	40

Tabulka 14: Podpora různých variant zdroje tepla [21]

8.1.3 Dotace na fotovoltaické systémy

Tato dotace je uplatnitelná na domácí fotovoltaickou elektrárnu připojenou k distribuční soustavě, přičemž vyrobená elektřina je přednostně spotřebovávána v domě. Dotace poskytuje následující výše finanční podpory:

Varianta fotovoltaického systému	Podpora [tis. Kč]
Základní instalace o výkonu 2 kWp se standardním měničem	40
Základní instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem	60
Základní instalace o výkonu 2 kWp s efektivním využitím tepelného čerpadla	100
Za každý další 1 kWp instalovaného výkonu	10
Za 1 kWh el. akumulčního systému	10

Tabulka 15: Podpora různých variant fotovoltaických systémů [21]

8.1.4 Dotace na přípravu TV, fotovoltaický ohřev

Tato dotace přispívá na pořízení a instalaci nového systému ohřevu TV pomocí fotovoltaického ohřevu, nebo tepelného čerpadla. Výše jednotlivých příspěvků jsou pro tuto dotaci následující:

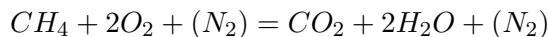
Varianta systému ohřevu vody	Podpora [tis. Kč]
Solární termický ohřev teplé vody s přitápěním	60
Solární termický ohřev teplé vody	45
Fotovoltaický ohřev teplé vody	45
Tepelné čerpadlo pro ohřev teplé vody	45

Tabulka 16: Podpora různých variant ohřevu vody [21]

Všechny zmíněné částky jsou uvedeny jako maximální výše podpory při realizaci zmíněných řešení, pokud je doloženo provedení řešení, zaplacení faktury a odborná firma, která realizovala zakázku a instalované zařízení jsou schváleny pro dotační program Nová zelená úsporám.

8.2 Vytápění plynovým kondenzačním kotlem

Plynový kondenzační kotel je ve své podstatě plynový kotel vybavený dokonalejším výměníkem tepla mezi spaliny a studenou přítokovou vodou. Oproti standardnímu plynovému kotli je pro kotel kondenzační zásadní tepelný spád, který způsobí kondenzaci vody vázané ve spalinách, neboť:



což je rovnice spalování zemního plynu (konkrétně metanu) ukazuje, že při spalování vzniká oxid uhličitý a voda. Voda je při spalování okamžitě přeměněna na vodní páru a společně se spalinami nese tzv. latentní teplo, které kondenzační kotel dokáže efektivně přeměňovat. Pokud jsou totiž tyto spaliny ochlazené pod svůj bod kondenzace (za normálních podmínek 57°C), uvolní skupenské teplo, které bylo nutné na přeměnění vody do plynného skupenství. V kondenzačním kotli se takto uvolněná energie používá k předehřevu vratné vody [22].

Aby otopná soustava s kondenzačním kotlem pracovala v optimálním režimu, musí být velmi dobře sladěny všechny hydraulické prvky. Například nesmí být použity systémy pro předehřev vratné vody, jako jsou třeba čtyřcestné směšovací ventily. Dále pak musí být správně dimenzováno čerpadlo, které musí být regulovatelné. Jeho předimenzování, nebo špatná regulace by mohla vést ke zvýšení teploty vratné vody a tím ke zhoršení normovaného stupně využití [22].

Posledním aspektem pro úspěšné zapojení a provozování kondenzačního kotle je odvod kondenzátu. pH kondenzátu se pohybuje stabilně v hodnotách kolem pH 5, což odpovídá pH dešťové vody. Kondenzační kotel tak lze připojit přímo do kanalizačního systému. Tam, kde to správce kanalizace požaduje, zejména u větších zařízení, se provádí tzv. neutralizace kondenzátu, což je proces, který má za úkol odebrat z vody přebytečný oxid uhličitý. K tomu slouží granuláty mramoru, nebo dolomitu, na které se oxid uhličitý váže. Granulát je v plastické nádobě protékán kondenzátem a na jejím konci vypouštěn do kanalizace. Neutralizační zařízení může být součástí příslušenství kotle [22].

Vzhledem k situaci na trhu se zemním plynem k 01. 05. 2022 není vhodné plynový kondenzační kotel navrhnout jako vhodný zdroj tepla pro rodinný dům. Je velmi nejisté, zda zemní plyn bude dodáván a velmi obtížně předpověditelné jaká bude jeho cena. Tento způsob vytápění byl díky zmíněným faktorům k 30. 04. 2022 vyřazen z dotačního programu Nová zelená úsporám a je velmi pravděpodobné, že Česká republika bude usilovat o co největší omezení používání plynových kotlů [20].

8.3 Vytápění kotlem na pelety

Moderní kotel na pelety je automatický zdroj vytápění. Náročnost jeho obsluhy je nepřímo úměrná kapacitě skladu na palivo a ochotě modernizovat okolí kotle. Každý kotel na pelety je vybaven automatickým šnekovým podavačem a obsluha se nemusí starat o příkládání, jako tomu je u klasických kotlů na uhlí, či dřevo. Tento způsob vytápění pak patří mezi uživatelsky nejkomfortnější mezi vytápěním tuhými palivy.



Obrázek 19: Kotel na pelety s automatickým podavačem, [24]

Automatický šnekový podavač kotle může být realizován několika způsoby. Buď je to podavač šikmý, který pomocí archimedova šroubu pelety vyveze do dostatečné výšky a ty potom po nakloněné rovině samy padají do kotle, nebo to může být podavač přímý. Šikmý zásobník má velkou výhodu v bezpečnosti, neboť při výpadku elektrického napájení nejsou pelety blíže ke kotli v přímém kontaktu s plamenem a oheň by se tak nerozšířil do celého zásobníku [24].

Zásobník přímý musí mít dodatečný bezpečnostní systém pro případ výpadku elektrického napájení. Touto pojistkou bývá často vodní nádoba oddělená od prostoru podavače kovem s nízkou teplotou tání (obvykle Woodův, nebo Fieldův kov), která se roztaví přítomností ohně v prostorech podavače a zaplaví podavač, čímž oheň uhasí [24].

Jako podstatná výhoda vytápění kotlem na pelety je uváděna ekologičnost celého procesu, neboť pelety vznikají ze slisovaných pilin různé kvality, které jsou vedlejším produktem dřevozpracovatelského průmyslu. Jedná se tedy o vytápění biomasou, která je považována za ekologický zdroj, na který je možno získat dotaci. Pelety mají standardizovanou velikost (průměr 6 - 8 mm a délku 20 - 30 mm). Zárukou kvality pelet je certifikace ENplus [24].

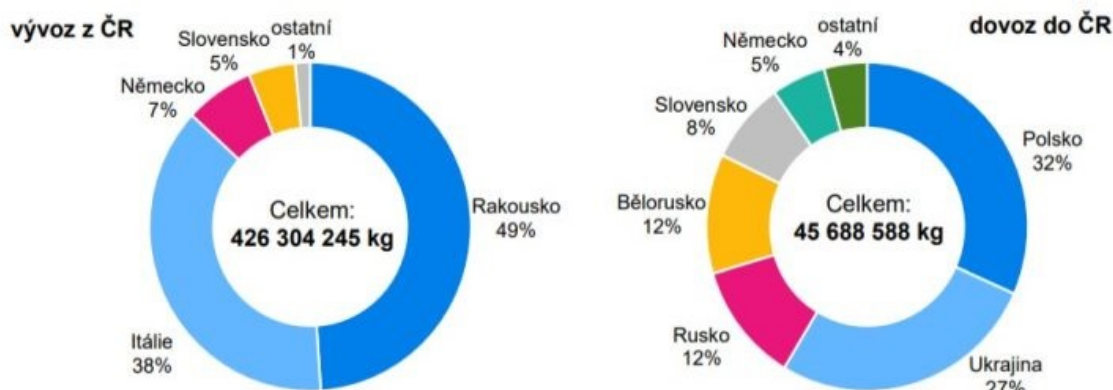
Dalším faktorem, který přispívá k bezobslužnosti celého systému je nízký hmotnostní obsah popela. Kotel tak není nutné čistit v krátkých intervalech, jak tomu je například u uhlí, které má mnohem vyšší obsah popela. Některé moderní kotle jsou vybaveny samočisticími systémy, které popel schraňují do kontejnerů. Ty je pak třeba při naplnění vyprázdnit. Popel z pelet je však díky svému chemickému složení dobrým hnojivem pro rostliny, nebo biologickým materiálem pro výrobu kompostu. Minerální látky jsou tímto způsobem vráceny zpět do přírody a neskončí na skládce [24].

Kotle na pelety je vhodné použít v objektech, které mají dostatečně dimenzován skladový prostor pro topné palivo. Pro pelety je doporučen 1 m^3 skladového místa pro každé 0.8 kW ztráty objektu. V energeticky nevhodných budovách tak může skladový prostor dosáhnout závratných hodnot. Pelety do skladu je možné získat několika způsoby: balení po pytlích o hmotnosti 15 kg (což je patrně velmi pracné), balení po paletách (na kterých jsou vyskládány již zmíněné pytly), nebo tzv. foukané pelety, které je možno dopravit cisternou do skladu pelet (nejčastěji sila na pelety) [24].

Nevýhodou vytápění peletami je v porovnání s ostatními možnostmi vytápění relativně nízká výhřevnost 16.5 MJ/kg, kterou však oproti aktuálním řešení vytápění uhlím vyvažuje vyšší účinnost kotle na pelety, než kotle na uhlí. Velkou výhodou je ekologičnost, díky které je vyšší pravděpodobnost, že zdroj bude moci být užíván i do budoucna legálně, protože na něj nebude uvalen zákaz, či omezení provozu.

Česká republika je ve výrobě dřevěných pelet soběstačná [26]. V roce 2019 bylo v České republice vyrobeno 400 tisíc tun dřevěných pelet, z čehož téměř 95% s certifikací ENplus. Spotřebováno bylo na domácím trhu 109 tisíc tun pelet, což odpovídá 27.25% domácí produkce. Většina produkce dřevěných pelet tak putuje do Rakouska a Itálie [26].

Česko: struktura vývozu a dovozu dřevěných pelet v roce 2021



Obrázek 20: Údaje o exportu a importu dřevěných pelet na český trh [26]

8.3.1 Investiční výdaje na peletový kotel

Při změně stávajícího systému vytápění na variantu automatického kotle na pelety je nutné demontovat a zlikvidovat stávající kotel s automatickým zásobníkem na hnědé uhlí. Prvním krokem ke změně způsobu vytápění by byla zednická úprava prostorů kotelny tak, aby v pravé polovině místnosti byl instalován kotel a levá polovina místnosti (10 m^2) byla oddělena příčkou a využívána jako sklad foukaných pelet. Do příčky by byly instalovány servisní dveře a automatický podavač na pelety. Sklad by měl celkový užitečný objem zhruba 15 m^3 , přičemž za topnou sezónu by kotel spálil zhruba 12 m^3 dřevěných pelet. Systém příkládání by proto byl zcela bezobslužný.

Hlavní požadavky pro výběr kotle jsou: vysoká účinnost, automatické zapalování hořáku a možnost připojení na termostat. Jedinou činností, kterou je nutné zachovat při obsluze kotle je úklid popela.

Pro tuto variantu byl vybrán kotel ATMOS D14P s automatickým odpopelňovacím systémem a přídatným popelníkem. Následující tabulka obsahuje základní technické údaje o kotli:

Parametr	Jednotka	Hodnota
Výkon	kW	4 - 14
Hmotnost	kg	231
Účinnost	%	90.3
Třída kotle		5

Tabulka 17: Vybrané parametry kotle ATMOS D14P [27]

Díky odpopelňovacímu přídavnému zařízení a přídavnému popelníku se údržba kotle zkracuje na interval 10 minut jednou za 14 dnů. Systém je vybaven kombinovaným bojlerem pro ohřev TV, který může být připojen na elektřinu z fotovoltaických panelů. Následující tabulka uvádí přehled investičních výdajů pro změnu vytápění na kotel na dřevěné pelety:

Název položky	Cena [tis. Kč]
Demontáž, odvoz a likvidace starého kotle	5
Stavební úpravy kotelny	25
Automatický podavač na pelety ATMOS DA2500	17
Kotel ATMOS D 14 P	52
Instalace kotle a zapojení pro ohřev TV	10
ATMOS Odpopelňovací zařízení bez přídavného popelníku pro kotel D20P	13
ATMOS přídavný popelník malý	7
Kombinovaný bojler Dražice OKC 200 110720801	13
Úprava hydraulického systému ohřevu TV a vytápění objektu	20
Pokojový termostat	2
Celkem	164

Tabulka 18: Investiční výdaje na instalaci kotle na dřevěné pelety [27]

Případná dotace dle dotačního programu Nová zelená úsporám by činila 100 tis. Kč, což by investiční výdaje kotle snížilo na 64 tis. Kč.

8.4 Vytápění tepelným čerpadlem

Tepelné čerpadlo patří mezi modernější způsoby vytápění a ač se obvykle řadí mezi způsoby vytápění elektřinou, pracuje na zcela odlišném principu, než je přímá přeměna elektrické energie na energii tepelnou.

Tepelné čerpadlo je tvořeno dvěma výměníky tepla a okruhem, který slouží k transportu tepla. Tato soustava pak pracuje stejným způsobem, jako klasický kompresorový výměník tepla, který lze nalézt v ledničkách, klimatizacích, sušičkách prádla, odvlhčovačkách vzduchu a podobných přístrojích, které pracují s teplotním spádem.

8.4.1 Rozdělení tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla se dělí dle použitého nízkopotenciálního zdroje a typu média, kterému tepelné čerpadlo předává tepelnou energii. Nejčastěji jsou používány následující typy tepelných čerpadel:

1. Voda - Voda, které jako nízkopotenciální zdroj používá cirkulaci vody (např. ze studny, řeky, či jiného zdroje) a předává teplo otopné soustavě. V České republice není mnoho míst, kde je možné tento způsob výměny energie realizovat [6].

2. Vzduch - Voda. Tento typ jako nízkopotenciální zdroj používá okolní vzduch. Jedná se o nejjednodušší a nejčastěji používaný způsob výměny tepla, neboť kompresor i výměník je možno umístit do stejné jednotky, která se umístí do blízkosti vytápěného objektu [6].
3. Země - Voda. Kvůli tomuto způsobu výměny tepla je nutno vyhotovit zemní vrt, neboť výměna probíhá mezi chladícím médiem a geologickým podložím. Vrty jsou zpravidla o průměru 120 - 140 mm a hloubce 80 - 180 m. K vyhotovení podzemního vrtu je nutná projektová dokumentace, hydrogeologické posouzení, vyjádření správce povodí, vyjádření souhlasu životního prostředí, ohlášení na báňský úřad a v některých případech stavební povolení a územní souhlas. Tento způsob výměny tepla je patrně jeden z těch administrativně složitějších [6].

Důležitým parametrem, který je nutno při výběru tepelného čerpadla zohlednit je jeho hlučnost. Dle zákona č. 258/2000 Sb. je nutno dodržet akustické limity hlučnosti maximálně 40 [dB] ve dne a 30 [dB] v noci do vzdálenosti 2 m od vnější fasády domů. U sousedních budov pak hlučnost nesmí ve vzdálenosti 2 m od vnější fasády přesáhnout 50 [dB] ve dne a 40 [dB] v noci. O hlučnosti na pozemku sousedních majitelů se zákon nezmiňuje.

8.4.2 Topný faktor tepelného čerpadla

Topný faktor TF (nebo COP - coefficient of performance) je jedním z hlavních ukazatelů energetické efektivity provozu tepelného čerpadla. Je definován jako:

$$TF = \frac{Q}{E} \quad [-]$$

kde je:

Q	...	teplo dodané do vytápění tepelným čerpadlem [kWh]
E	...	energie dodaná do tepelného čerpadla na jeho provoz [kWh]

Topný faktor je složitou veličinou, která závisí na mnoha faktorech. Především u tepelných čerpadel typu vzduch - voda je to teplota nízkopotenciálního média, tj. venkovního vzduchu, protože může docházet k namrznání čerpadla a tím jeho poškození. Záleží také na způsobu provedení otopné soustavy. Naprosto optimálním řešením pro tepelné čerpadlo je podlahové topení, protože pro svůj provoz používá nižší teploty (kolem 35°C), než například soustava osazená klasickými plechovými radiátory. Zásadní vliv má také skutečnost, zda se tepelné čerpadlo používá i na ohřev TV, která vyžaduje ohřev na vyšší teploty [6].

Z těchto důvodů se při výpočtech nepoužívá výrobcem udávaná maximální hodnota topného faktoru, ale jeho střední hodnota. Topný faktor je výrobcem udáván často ve formátu: A2°C/W35°C, je 3.5 dle EN 14 511, což znamená, že topný faktor byl měřen za podmínek teploty vnějšího vzduchu 2°C, teploty vody v otopné soustavě 35°C, dle metodiky normy EN 14 511 [6].

8.4.3 Investiční výdaje na tepelné čerpadlo

Pro variantu vytápění tepelným čerpadlem bylo vybráno tepelné čerpadlo IVT AIR X 90. Jeho vybrané technické parametry ukazuje následující tabulka:

Parametr	Jednotka	Hodnota
Výkon	kW	8.3
Sezónní topný faktor	-	4.93
TF A7°C/W35°C	-	5.09
TF A2°C/W35°C	-	4.07
TF A-7°C/W35°C	-	2.64
Hmotnost	kg	114
Hladina akustického výkonu	dB	48

Tabulka 19: Vybrané technické parametry tepelného čerpadla IVT AIR X 90 [31]

Úpravy, které bude nutné v objektu realizovat kvůli instalaci topného čerpadla jsou: Stavební úpravy kotelny, demontáž starého kotle a zásobníku vody, změna typu radiátorů (tepelné čerpadlo pracuje s teplotním spádem 35/25°C, zatímco aktuální systém s teplotním spádem 60/40°C. Tepelný spád je poloviční, tudíž plocha nového typu radiátorů bude muset být dvojnásobná. Tomu vyhovují třídeskové radiátory). Vybraná firma Eurosystemy realizuje instalaci tepelného čerpadla na klíč. V jejich cenové nabídce je obsažena venkovní jednotka, vnitřní jednotka, zásobník vody s dvojnásobným způsobem ohřevu (pro fotovoltaický systém), základní hydraulický systém k tepelnému čerpadlu, termostat a samotná instalace. Přehled investičních výdajů nutných k úpravě aktuálního systému vytápění shrnuje následující tabulka:

Název položky	Cena [tis. Kč]
Demontáž, odvoz a likvidace starého kotle	5
Stavební úpravy kotelny	10
Úprava hydraulického systému ohřevu TV a vytápění objektu	20
Tepelné čerpadlo IVT AIR X 90	170
Příplatek za zásobník TVs kombinovaným ohřevem	19
Výměna litinových radiátorů za třídeskové radiátory	38
Celkem	262

Tabulka 20: Přehled investičních výdajů na výměnu stávajícího způsobu vytápění a ohřevu teplé vody na tepelné čerpadlo, ceny jsou dostupné z [32]

Životnost tepelného čerpadla je podle zkušeností zákazníků 20 let, přičemž 10 let poskytuje firma záruku na kompresor. Výše dotace pro tepelné čerpadlo včetně instalace fotovoltaického systému činí 140 tis. Kč. Bez fotovoltaického systému pak 100 tis. Kč.

8.5 Střešní fotovoltaický systém

Fotovoltaické systémy vyrábí obnovitelnou elektřinu ze slunečního záření a představují tak zdroj, který zvyšuje energetickou nezávislost. Fotovoltaické panely, přesto, že mají vyšší počáteční investici, nevyžadují téměř žádnou údržbu ani revize.

Fotovoltaický panel funguje na principu fotovoltaického jevu, který je jednou z forem vnitřního fotoelektrického jevu. Jeho objev se datuje již do roku 1876 [25].

Při absorpci fotonu materiálem je část jeho energie přijata volnými, nebo vázanými elektrony, či mřížkou materiálu. Je-li energie přijatá vázaným elektronem dostatečně velká, stává se tento elektron elektronem volným a uvnitř materiálu vzniká pár elektron - kladný iont. Při oddělení těchto iontů je vytvořen rozdíl elektrických potenciálů (elektrické napětí). Nejsnazší cestou oddělení iontů je pomocí PN polovodičového přechodu, který vytváří vnitřní elektrické pole a separuje ionty různé polarit [25].

Množství solární energie přeměněné fotovoltaickým panelem na energii elektrickou je dáno přímou intenzitou slunečního záření [W/m^2]. Střední hodnota intenzity slunečního záření dopadajícího na horní vrstvu atmosféry je $1367 [W/m^2]$ (solární konstanta). Přičemž přibližně 20% dopadajícího záření je absorbováno v atmosféře a kolem 10% je rozptýleno a odraženo. Z toho vyplývá, že zemského povrchu dosáhne zhruba 70% slunečního záření [25].

Přímá intenzita slunečního záření je definována jako:

$$I_D = I_0 \cdot 0.7^{AM} \cdot \cos\gamma \quad [W/m^2] \quad (5)$$

kde je:

I_0	...	Solární konstanta [W/m^2]
AM	...	Koeficient atmosférické masy (min. 1)[-]
γ	...	Úhel mezi dopadajícím zářením a absorbující rovinou [$^\circ$]

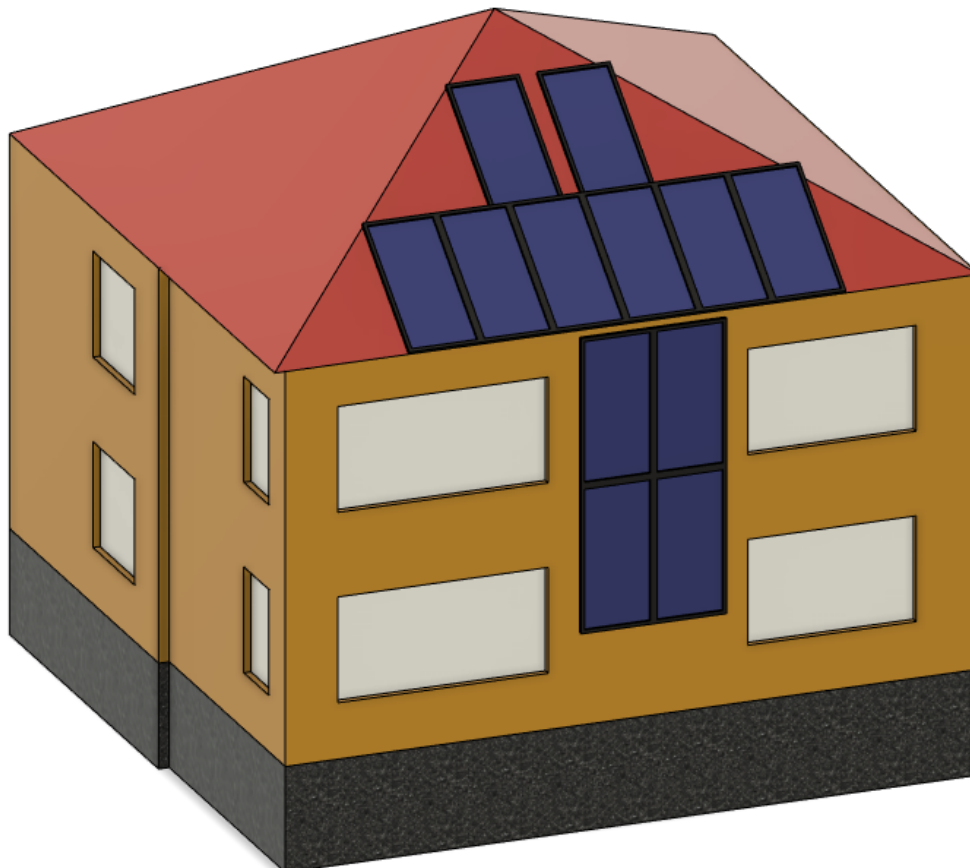
8.5.1 Dimenzování systému fotovoltaických panelů

V případě uvažovaného objektu byly pro instalaci vybrány panely AEG 450Wp AS-M1444Z-H(M6)-450 kvůli jejich ceně a pozitivním zkušenostem uživatelů těchto panelů. Následující tabulka uvádí nejdůležitější parametry těchto panelů:

Parametr	Jednotka	Hodnota
Špičkový výkon	Wp	450
Hmotnost	kg	24.3
Účinnost	%	20.7
Produktová záruka	let	15
Záruka výkonu	% za let	84.8 za 25
Délka	mm	2094
Šířka	m	1038
Napětí	V	40
Cena s DPH	Kč	4590

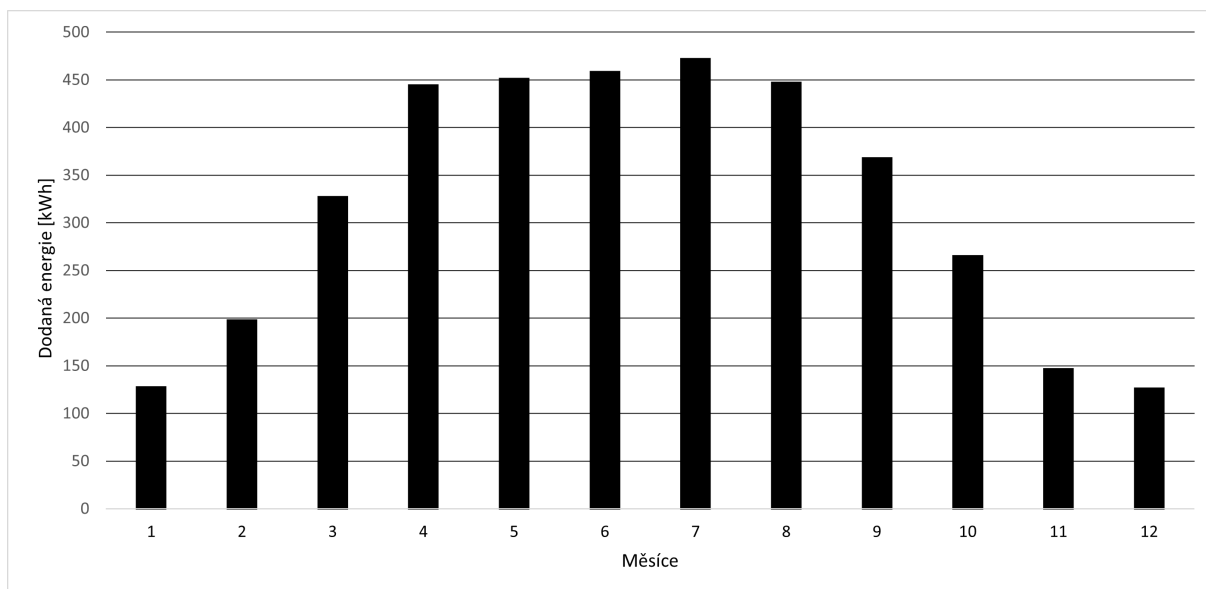
Tabulka 21: Vybrané parametry fotovoltaického panelu, [28]

Optimalizace umístění fotovoltaických panelů je provedena za pomoci 3D modelování a online nástroje PGIS pro optimalizaci umístění a výpočet výkonu fotovoltaických panelů, který provozuje Evropská komise [29]. Azimut domu (odchylka od jihu, přičemž kladný směr je považován po směru hodinových ručiček) je 15° . Optimální úhel pro uvažovanou lokalitu dle [29], který panely svírají se zemí je 36° , přičemž střecha domu má sklon 30° . Panely tedy bude nutné instalovat na pomocnou konstrukci, která optimalizuje úhel svíraný se zemí. Na následující obrázku je možné vidět jedno z možných osazení domu fotovoltaickými panely. S touto variantou tato práce počítá.

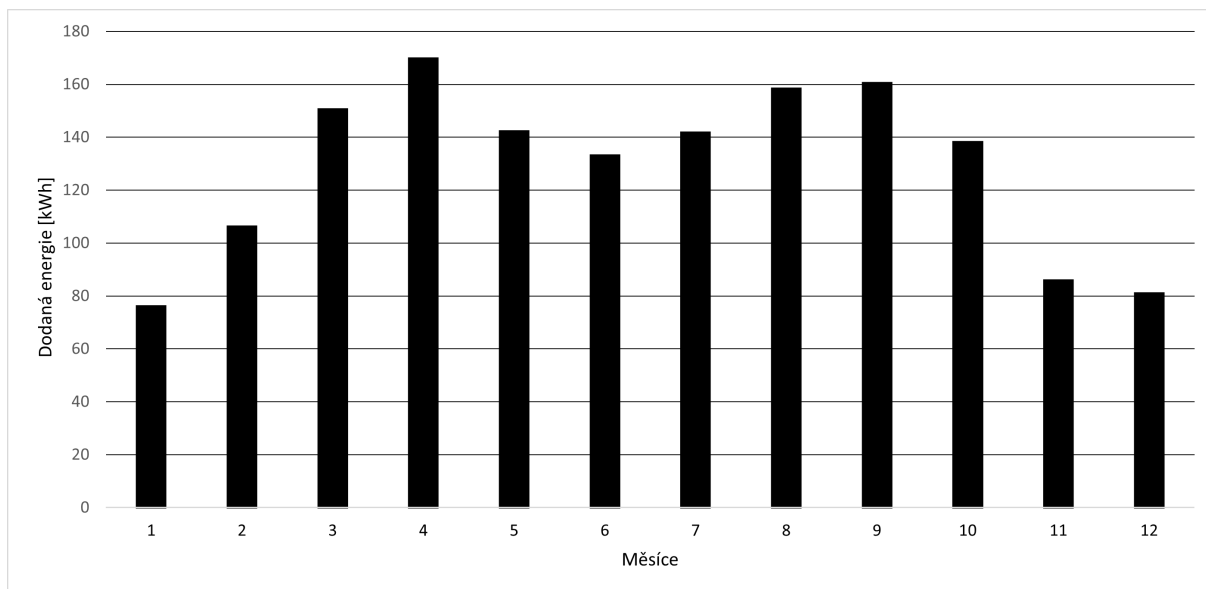


Obrázek 21: Navrhované rozložení fotovoltaických panelů na domě

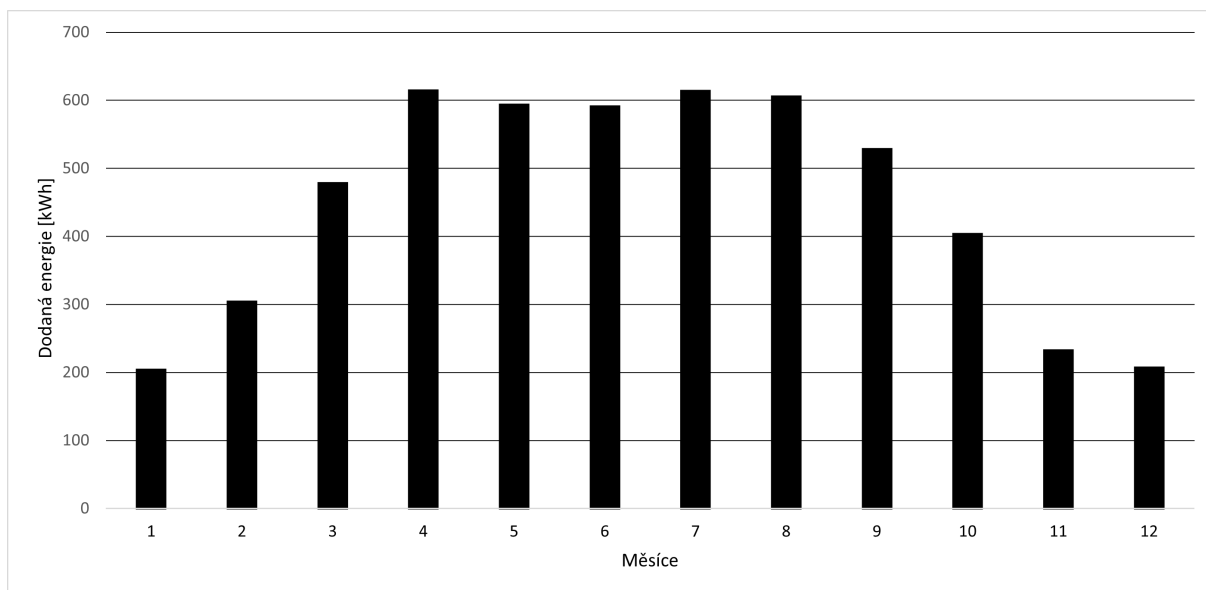
Navržený fotovoltaický systém je nutné kvůli výpočtům dodané energie rozdělit na dva podsystemy - střešní systém, který se skládá z 8 panelů mající špičkový výkon 3.6 kW a svírající se zemí úhel 36° , azimut 15° . Dále pak na systém 4 panelů mající špičkový výkon 1.8 kW, instalovaný na fasádě, který svírá se zemí úhel 90° , azimut 15° . Systém pak bude mít špičkový výkon 5.4 kW. Dle [29] pak bude mít systém následující denní diagramy výkonu a celkový roční dodaný výkon:



Obrázek 22: Graf roční energie dodané fotovoltaickými panely instalovanými na střeše po měsících. Data pro výpočet získána z [29].

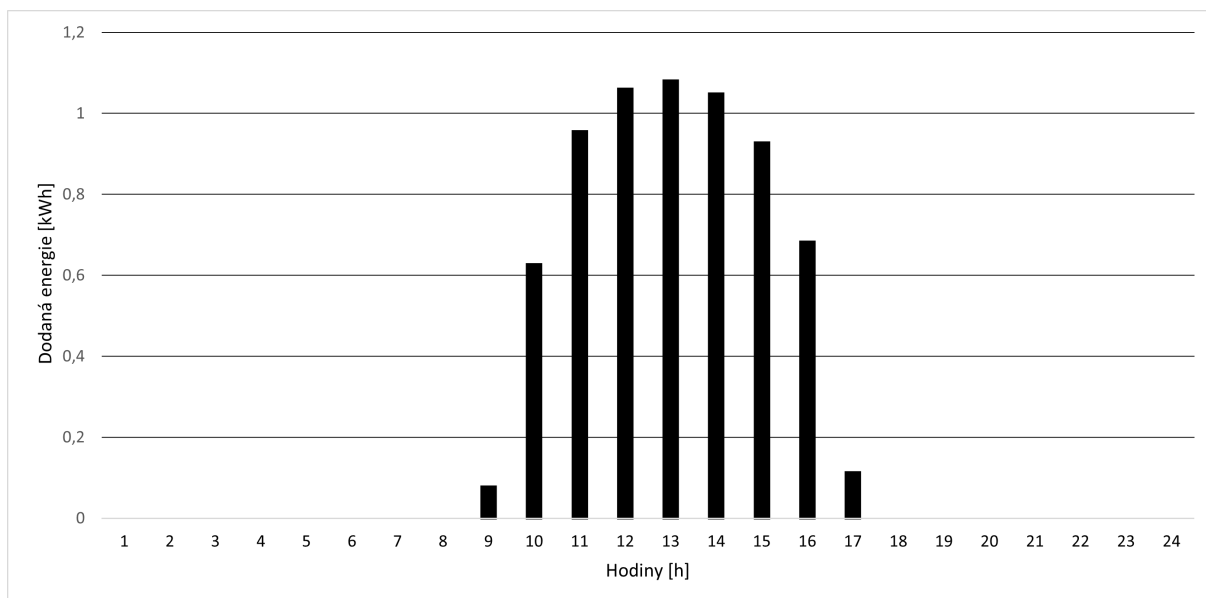


Obrázek 23: Graf roční energie dodané fotovoltaickými panely instalovanými na fasádě po měsících. Data pro výpočet získána z [29].

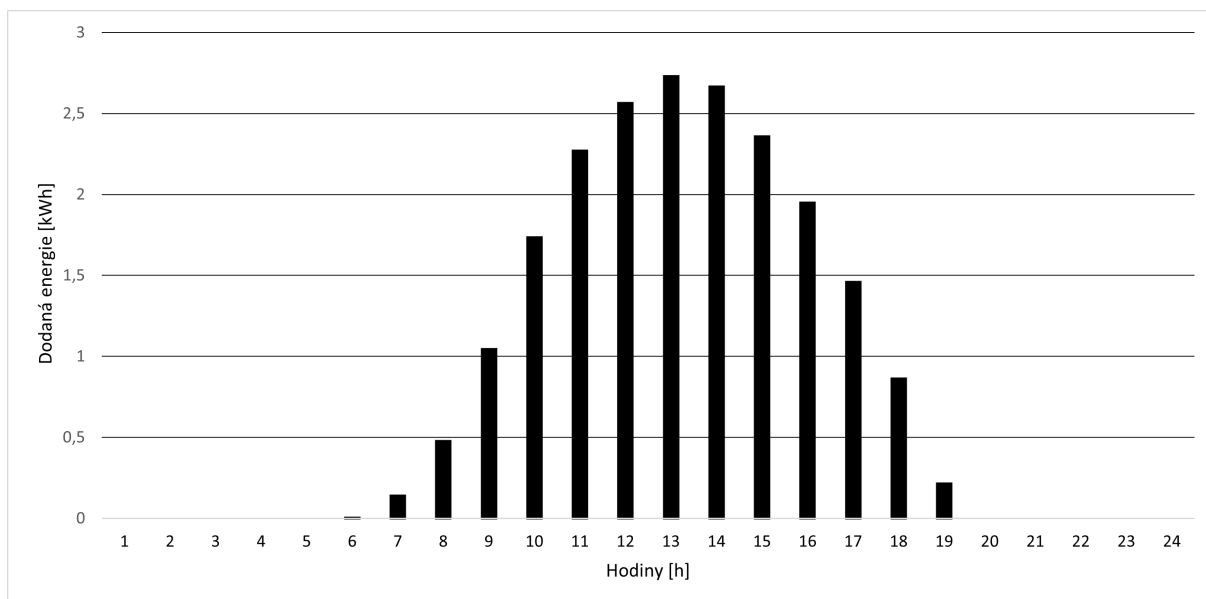


Obrázek 24: Graf roční energie dodané systémem fotovoltaických panelů po měsících. Data pro výpočet získána z [29].

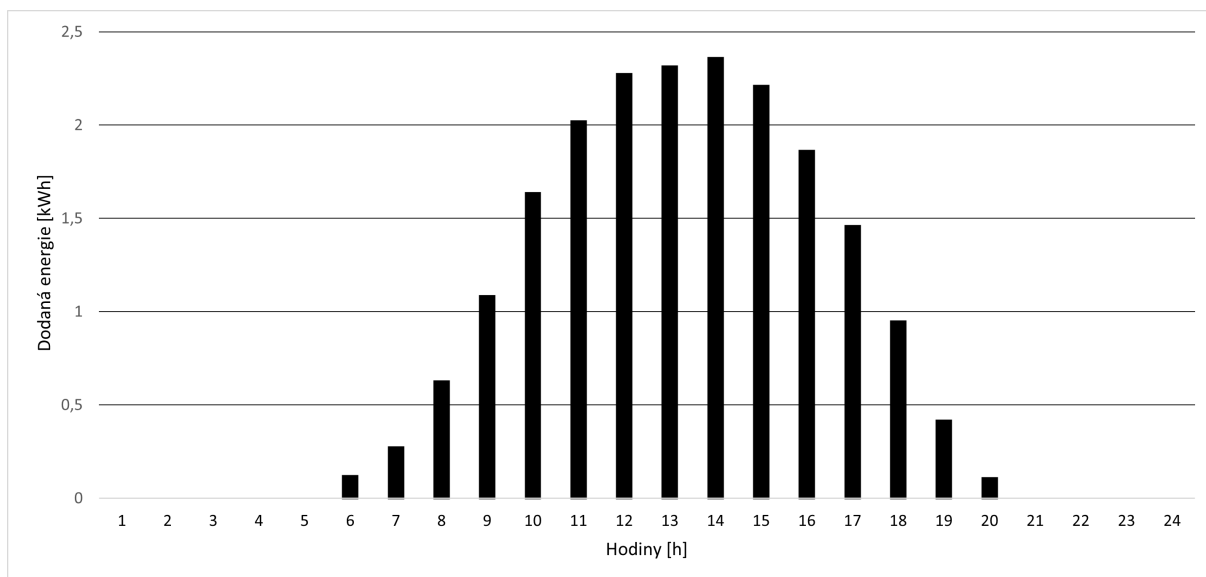
Celkem tedy systém fotovoltaických panelů přemění ročně 5.374 MWh energie. Tato energie může být využita na ohřev vody, pohon tepelného čerpadla, vaření, nebo napájení ostatních spotřebičů. Nelze však jednoduše určit, na co bude přeměněná energie využita, protože fotovoltaický systém přemění nejvíce energie kolem 13. hodiny, kdy odběr energie objektu není maximální, jak ukazují následující denní diagramy přeměny energie pro různá roční období:



Obrázek 25: Graf energie získané z fotovoltaických panelů po hodinách pro průměrný lednový den (zimní období). Data pro výpočet získána z [29].



Obrázek 26: Graf energie získané z fotovoltaických panelů po hodinách pro průměrný dubnový den (období přechodu). Data pro výpočet získána z [29].

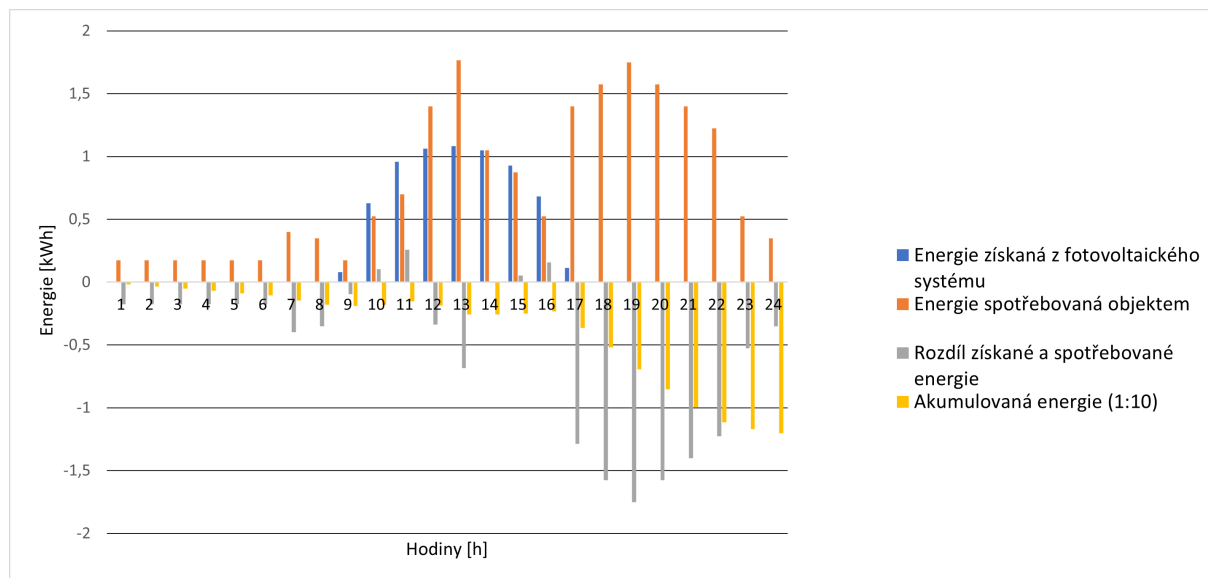


Obrázek 27: Graf energie získané z fotovoltaických panelů po hodinách pro průměrný červnový den (letní období). Data pro výpočet získána z [29].

Z grafů je patrné, že pro průměrný červnový den je elektrická energie získaná z fotovoltaického systému podobná té, která je získána za průměrný dubnový den. Tato skutečnost je zapříčiněna faktem, že celkovou energii získanou z fotovoltaického systému z 25% ovlivňuje i systém instalovaný na fasádě domu, který má sklon 90%. Ten dosahuje maxima svého výkonu právě v přechodovém období, neboť slunce ještě není v poledne tak vysoko nad obzorem, jako je tomu v letním období.

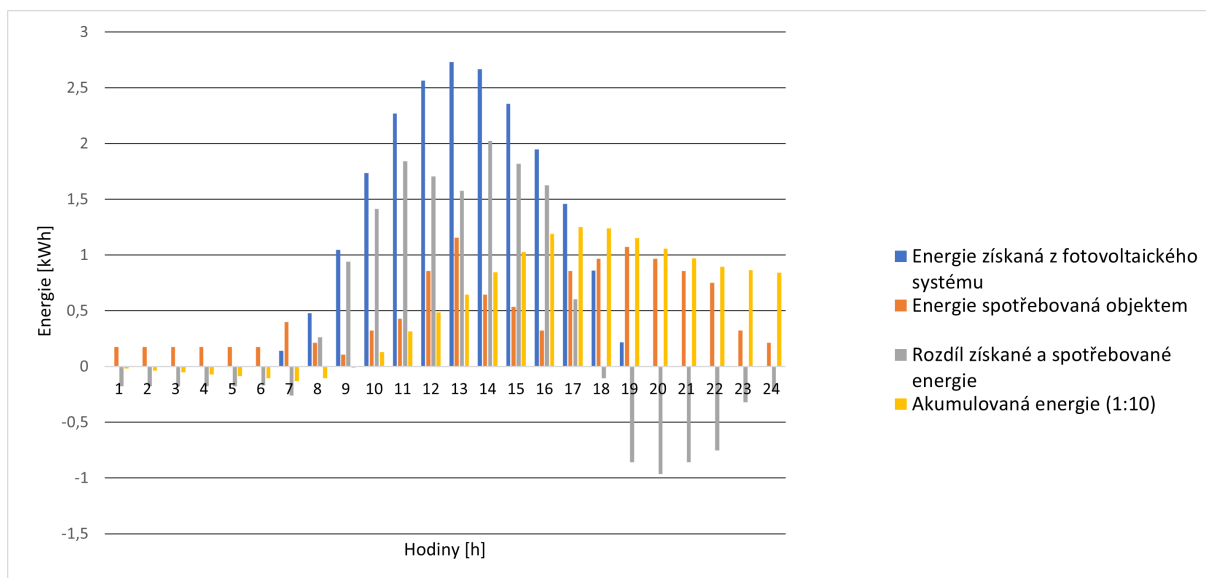
8.5.2 Výpočet kapacity bateriového úložiště

Výpočet kapacity bateriového úložiště spočívá v porovnání denního diagramu zatížení objektu a denního diagramu přeměny energie fotovoltaického systému. Tyto grafy už jsou v této práci obsaženy. Výpočet bude probíhat pro typické denní diagramy pro měsíce: leden, duben a červen, které jsou typickými reprezentanty pro období zimy, přechodu a léta. Bateriové úložiště může být buď fyzické - soustava bateriového úložiště a výkonového měniče, nebo se může jednat o produkt, který nabízí místní dodavatel energie - virtuální baterii, u které dodavatel eviduje přebytek přeměněné energie a tu potom zákazníkovi zpět odprodá pouze za distribuční poplatek a stálý měsíční poplatek za kapacitu bateriového úložiště. Kapacitu baterie lze určit z následujících grafů:



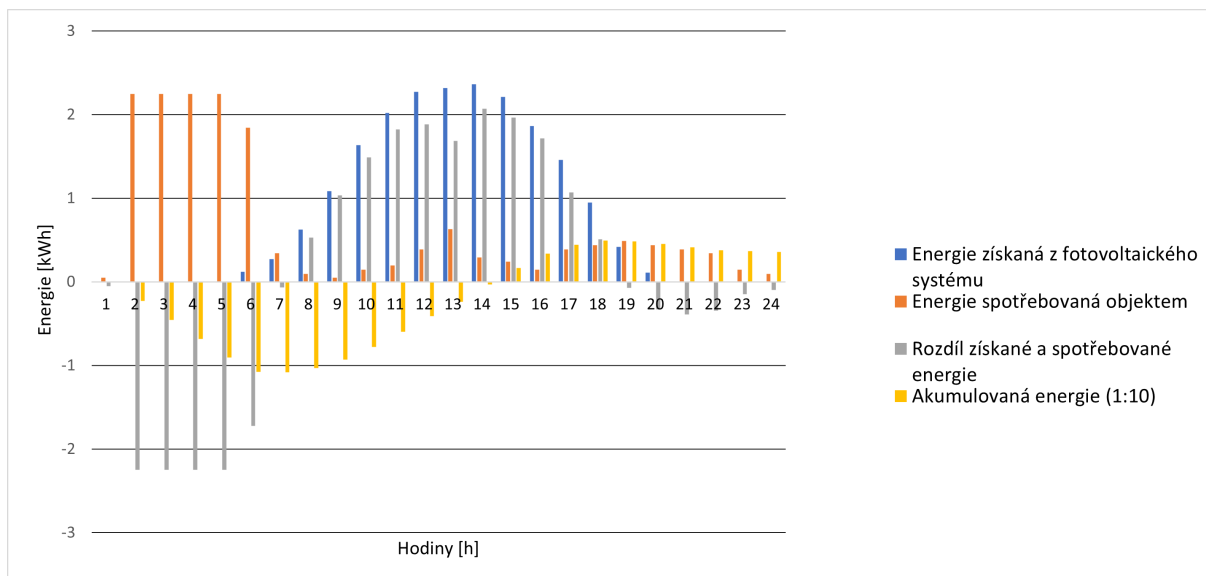
Obrázek 28: Graf spotřeby elektrické energie domu, dodané energie z fotovoltaických panelů, jejich rozdílu a akumulace rozdílu pro zimní období.

Do grafu nebyla započítána spotřeba elektrické energie na ohřev vody, protože obě zmíněné varianty vytápění počítají v zimním období s ohřevem vody pomocí hlavního zdroje tepla objektu - kotlem na dřevěné pelety, nebo tepelným čerpadlem s dohřevem pomocí elektrické energie. S energií na ohřev vody v zimním období bude počítáno při vyhodnocení jednotlivých variant z hlediska ekonomické efektivity.



Obrázek 29: Graf spotřeby elektrické energie domu, dodané energie z fotovoltaických panelů, jejich rozdílu a akumulace energie v akumulátorovém článku pro období přechodu.

Do grafu nebyla započítána spotřeba elektrické energie na ohřev vody, protože obě zmíněné varianty vytápění počítají v období přechodu s ohřevem vody pomocí hlavního zdroje tepla objektu - kotlem na dřevěné pelety, nebo tepelným čerpadlem s dohřevem pomocí elektrické energie. S energií na ohřev vody v zimním období bude počítáno při vyhodnocení jednotlivých variant z hlediska ekonomické efektivity.



Obrázek 30: Graf spotřeby elektrické energie domu, dodané energie z fotovoltaických panelů, jejich rozdílu a akumulace energie v akumulátorovém článku pro letní období.

Z grafů je zřejmé, že jediným obdobím, kdy je fotovoltaický systém schopen pokrýt spotřebu elektrické energie rodinného domu včetně spotřeby elektrické energie potřebné na ohřev vody je letní období. Důležitou skutečností, kterou je z grafu průběhu akumulace energie v akumulátoru možné pozorovat je přebytek energie na konci dne. To znamená, že fotovoltaický systém je schopen v letním období vytvořit denně větší množství energie, než jaká je spotřeba rodinného domu. Pro zjištění minimální velikosti akumulátoru je nutné sledovat průběh akumulace elektrické energie, konkrétně maximum jeho absolutní hodnoty. To nastává v 7:00 a činí 11.04 kWh. S touto kapacitou akumulátoru je tedy možné pokrýt denní spotřebu objektu průměrný červnový den (16.15 kWh).

Při uvažování účinnosti systému dobíjení baterie a měniče 0.95 je minimální požadovaná kapacita bateriového úložiště 12.23 kWh, přičemž systém pracuje s napětím 40 V. Celková minimální kapacita baterie tedy bude 305 Ah. Příkladem vhodné baterie pro použití v tomto systému je trakční baterie Linde 48V 4PzS 460Ah, která se používá pro pohon vysokozdvíhových vozíků.

Fotovoltaický systém tedy průměrně vytvoří každý den v letním období 3.38 kWh energie, kterou objekt v letním období není schopen spotřebovat. Není tedy vhodné jí ukládat do fyzického akumulátoru do příchodu období přechodu. Vhodnější způsob ukládání takového přebytku energie bude využití virtuální baterie, jejíž kapacita se určí výpočtem přebytku energie vytvořené fotovoltaickým systémem za letní období:

$$E = 3.38 \cdot 90 = 304 \quad [kWh]$$

8.5.3 Investiční výdaje na pořízení fotovoltaického systému

Jak již bylo zmíněno, instalace fotovoltaického systému bude provedena odbornou firmou. Jednou z firem, které dodávají fotovoltaické systémy v Jihočeském kraji je firma E.ON. Při využití dodávky a instalace fotovoltaického systému firmou E.ON dokonce získá zákazník možnost využívat službu virtuální baterie. Firma také vyřizuje žádost o získání dotace a žádost o připojení elektrárny k síti. Jedná se tedy o systém na klíč. Cena systému o špičkovém výkonu 5.4 kWp s fyzickou baterií o kapacitě 11.6 kWh činí 200 tis. Kč, včetně DPH s dotací 225 tis. Kč. Cena bez dotace pak bude 425 tis. Kč. Předpokládaná životnost fotovoltaických panelů je 25 let. Životnost baterie a měniče pak 10 let.

8.6 Zateplení objektu

Jak již bylo zmíněno, zateplení objektu je z hlediska zásobování objektu energií vhodným opatřením, protože omezuje ztrátový tepelný výkon objektu. Již bylo vypočítáno, že zateplením objektu by bylo dosaženo úspory 50.66% ze ztrátového tepelného výkonu. Celková energie nutná pro vytápění objektu by po zateplení objektu činila 20.5 MWh ročně.

Zateplení objektu ve většině případech zajišťuje odborná firma. Celkový proces se skládá z výstavby lešení, přípravy fasády, samotného zateplení a dodělavacích prací. Jedná se o postup velmi komplexní a pracný. Z tohoto důvodu i tato práce počítá s tím, že zateplení objektu bude zpracovávat odborná firma.

Firma Zateplení, revitalizace PEKSTAV, s. r. o. uvádí na svém webu cenu za zateplení 1 m² fasády polystyrenem u rodinného domu 950 Kč. Pro celkovou obalovou plochu domu by potom investiční výdaje na zateplení objektu činily 475 tis. Kč bez dotace a 175 tis. Kč s dotací v minimální ziskatelné výši (600 Kč za m²) [30].

9 Ekonomická efektivnost jednotlivých variant

V této sekci jsou zhodnoceny varianty zmíněné v kapitole 7 z hlediska ekonomické efektivnosti. Pro každou variantu je provedeno zhodnocení z hlediska NPV a RCF.

9.1 Metody vyhodnocování

9.1.1 NPV

Pod pojmem NPV, nebo česky čistá současná hodnota je rozuměna suma diskontovaných hotovostních toků v čase. Pro investici například v podobě zakoupení nového kotle to představuje obnos nutný k pořízení a instalaci kotle, cenu paliva a cenu pravidelných revizí a oprav. NPV je určena takto:

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t(1+r)^{-t} = \sum_{t=1}^T CF_t(1+r)^{-t} - IN \quad [Kč] \quad (6)$$

kde je:

CF_t	...	Hotovostní tok v roce t [Kč]
r	...	diskont [%]
IN	...	Počáteční investice [Kč]

Diskont v tomto případě představuje cenu ušlé příležitosti a ve výpočtu se chová jako jakýsi úrok. Určitě by v něm měla být zohledněna inflace a pro domácnost fakt, zda na vybavení, či stavbu byla sjednána půjčka, případně hypotéka.

9.1.2 RCF

RCF, nebo-li roční ekvivalentní hotovostní tok, je ukazatel umožňující srovnávat investiční příležitosti s různou dobou životnosti, či délkou trvání pomocí hlediska NPV. Vyjadřuje tak, kolik peněz bude za určité období stát (nebo přinese) určitá investiční možnost, která má určitou životnost, po jejímž vypršení bude investice uskutečněna znovu. Toho dosahuje vynásobením NPV poměrnou anuitou:

$$RCF = NPV \cdot a_{Tz} \quad [Kč] \quad (7)$$

kde je:

a_{Tz}	...	Poměrná anuita [-]
----------	-----	--------------------

Poměrná anuita je převrácená hodnota předlhučního zásobitele:

$$Z^+ = \frac{q^T - 1}{q^T \cdot (q - 1)}; \quad a_{Tz} = \frac{1}{Z^+}; \quad a_{Tz} = \frac{q^T \cdot (q - 1)}{q^T - 1} \quad (8)$$

kde je:

q	...	$1 + \text{diskont}$ [-]
-----	-----	--------------------------

Diskont bude v této práci uvažován 2%, protože se jedná o výpočet ekonomické efektivnosti pro domácnost. Ta jakožto ekonomický subjekt nemá možnosti bezpracně zhodnocovat své úspory. Příklady možností, kam může domácnost investovat své úspory jsou například investiční produkty finančních institucí, státní a jiné dluhopisy, spoření v rámci investičního životního pojištění a stavební spoření. Efektivní úroková sazba takových produktů se ve většině případů pohybuje kolem 2%.

Veškeré výpočty budou prováděny v cenách fixních na dnešní úroveň a inflace nebude brána v potaz, protože předpovědět růst cen energií, či růst inflace je velmi složité a většinou je předpověď nesprávná.

9.2 Zateplení objektu

Zateplení objektu nepředstavuje žádné provozní náklady, tudíž je možné tuto variantu podpůrného systému vyhodnotit z hlediska ekonomické efektivnosti přímým výpočtem ročního ekvivalentního hotovostního toku z rovnice 7. Předpokládaná životnost zateplení fasády je 30 let a investiční výdaje na zateplení jsou 475 tis. Kč bez dotace a 175 tis. s dotací.

$$RCF_{zateplenibezdotace} = -475 \cdot \frac{1.02^{30} \cdot (1.02 - 1)}{1.02^{30} - 1} = -21.2 \quad [tis. Kč]$$

$$RCF_{zateplenisdotaci} = -175 \cdot \frac{1.02^{30} \cdot (1.02 - 1)}{1.02^{30} - 1} = -7.8 \quad [tis. Kč]$$

Ve výpočtu není zahrnuta úspora, kterou zateplení fasády objektu přináší. Ta bude zahrnuta v kombinaci s uvedenými variantami vytápění objektu.

9.3 Střešní fotovoltaický systém

Střešní fotovoltaický systém jako takový také nepotřebuje žádnou práci ve formě obsluhy a nevznikají na něj žádné provozní výdaje. Předpokládaná životnost střešního fotovoltaického systému je 25 let. Roční ekvivalentní hotovostní tok pro pořízení fotovoltaického systému pak lze vypočítat z rovnice 7 jako:

$$RCF_{fotovoltaikebezdotace} = -425 \cdot \frac{1.02^{25} \cdot (1.02 - 1)}{1.02^{25} - 1} = -21.8 \quad [tis. Kč]$$

$$RCF_{fotovoltaikasdotaci} = -200 \cdot \frac{1.02^{25} \cdot (1.02 - 1)}{1.02^{25} - 1} = -10.2 \quad [tis. Kč]$$

Ve výpočtu není zahrnuta elektrická energie, kterou fotovoltaické panely dodají do objektu. Ta bude zahrnuta v kombinaci s uvedenými variantami vytápění objektu.

9.4 Kotel na pelety

Následující varianty počítají s instalací kotle na pelety a různými kombinacemi podpůrných systémů. Očekávaná doba životnosti kotle na pelety je 20 let. Při tomto způsobu vytápění by v objektu byl umístěn kombinovaný bojler pro ohřev TV a díky tomu by objekt spadl do distribuční sazby D25d, pro kterou jsou výdaje na elektřinu zjistitelné z [33]:

D25d		
Položka	Jednotka	Cena [Kč]
Cena za dodávku VT	Kč/MWh	3797
Cena za dodávku NT	Kč/MWh	2202
Cena za distribuci VT	Kč/MWh	2165
Cena za distribuci NT	Kč/MWh	229
Platba za jistič	Kč/měsíc	184
Daň z elektřiny	Kč/MWh	34,24
Cena za sys. Služby	Kč/MWh	137,37
Cena za činnost operátora	Kč/měsíc	5,08
Podpora OZE dle jističe	Kč/měsíc	358,25
Podpora OZE dle spotřeby	Kč/MWh	598

Tabulka 22: Složky celkové ceny elektřiny [33]

V rámci přehlednosti tabulek a vypočtených údajů jsou v této sekci použity následující zkratky:

E_V	...	Energie vynaložená na vytápění objektu [MWh]
E_{Ov}	...	Energie vynaložená ohřev vody [MWh]
E_{DK}	...	Energie dodaná do objektu kotlem [MWh]
E_{FV}	...	Energie dodaná do objektu fotovoltaickým systémem [MWh]
E_{SVT}	...	Energie spotřebovaná elektrospotřebiči ve vysokém tarifu [MWh]
E_{SNT}	...	Energie spotřebovaná elektrospotřebiči v nízkém tarifu [MWh]
E_{DNT}	...	Energie dodaná do objektu v nízkém tarifu [MWh]
E_{DVT}	...	Energie dodaná do objektu ve vysokém tarifu [MWh]

9.4.1 Vytápění kotlem na pelety, ohřev vody kombinovaným bojlerem, bez fotovoltaického systému a bez zateplení

Tato varianta počítá s instalací kotle na dřevěné pelety a kombinovaného bojleru. V topné sezóně bude vodu ohřívat peletový kotel. Mimo topnou sezónu bude ohřev vody zajišťovat elektrická energie. Roční výdaje na provoz této varianty zásobování energií lze získat z následujících tabulek:

Druh energie:	E_V	E_{Ov}	E_{DK}	E_{DNT}
Jednotka	MWh	MWh	MWh	MWh
Leden	6.853	0.341	7.194	0.000
Únor	5.887	0.335	6.222	0.000
Březen	5.220	0.331	5.552	0.000
Duben	3.554	0.322	3.876	0.000
Květen	1.855	0.312	2.167	0.000
Červen	0.000	0.306	0.000	0.306
Červenec	0.000	0.302	0.000	0.302
Srpen	0.000	0.303	0.000	0.303
Září	1.922	0.312	2.234	0.000
Říjen	3.488	0.321	3.809	0.000
Listopad	5.220	0.331	5.552	0.000
Prosinec	6.486	0.339	6.825	0.000
Celkem	40.485	3.856	43.430	0.911

Tabulka 23: Roční průběh zásobování objektu energií

Energie dodaná kotlem	MWh	43.43
Účinnost přeměny	-	0.90
Chemická energie v peletách	MWh	48.09
Výhřevnost pelet	MJ/kg	16.50
Výhřevnost pelet	MWh/kg	4.58E-03
Hmotnost pelet	t	10.49
Měrná cena za pelety	Kč/t	7360.00
Celková cena za pelety	tis. Kč	77.2
Množství práce	h	4.00
Měrná cena práce	Kč/h	150.00
Celková cena za práci	tis. Kč	0.60
Ohřev vody elektřinou v NT	MWh	0.91
Ostatní spotřebiče NT	MWh	1.38
Celkem NT	MWh	2.29
Ostatní spotřebiče VT	MWh	3.03
Poplatky za distribuci	tis. Kč	7.09
Měsíční poplatky celkem ročně	tis. Kč	6.57
Daň z el. sys. Služby, podpora oze	tis. Kč	4.10
Cena silové elektřiny ve VT	Kč/MWh	3797
Cena silové elektřiny v NT	Kč/MWh	2202
Roční cena za elektřinu	tis. Kč	34.3
Roční provozní výdaje	tis. Kč	121.1

Tabulka 24: Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií

Varianta	Dez dotace	S dotací
NPV [tis. Kč]	-2017	-1917
RCF [tis. Kč]	-123	-117

Tabulka 25: Tabulka ukazatelů ekonomické efektivnosti uvažované varianty

9.4.2 Vytápění kotlem na pelety, ohřev vody kombinovaným bojlerem, s fotovoltaickým systémem, bez zateplení

Tato varianta počítá s instalací kotle na dřevěné pelety a fotovoltaického střešního systému. Elektrická energie dodaná do objektu z fotovoltaického systému je primárně využívána na napájení spotřebičů a ohřev vody mimo nízký distribuční tarif, jiný způsob využití takto získané energie by nebyl tak výhodný. V případě, že energie získaná z fotovoltaického systému je větší, než energie spotřebovaná ve vysokém a nízkém tarifu, je použita v kombinovaném bojleru na ohřev vody a šetří tak spotřebu pelet. Ukazatele ekonomické efektivnosti lze určit z následujících tabulek:

Druh energie:	E_V	E_{Ov}	E_{DK}	E_{FV}	E_{SVT}	E_{SNT}	E_{DNT}	E_{DVT}
Jednotka	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Leden	6.853	0.341	7.194	0.204	0.268	0.122	0.122	0.065
Únor	5.887	0.335	6.222	0.304	0.264	0.120	0.080	0.000
Březen	5.220	0.232	5.453	0.478	0.261	0.118	0.000	0.000
Duben	3.554	0.075	3.629	0.614	0.253	0.115	0.000	0.000
Květen	1.855	0.075	1.930	0.593	0.245	0.111	0.000	0.000
Červen	0.000	0.065	0.000	0.591	0.241	0.109	0.065	0.000
Červenec	0.000	0.034	0.000	0.614	0.238	0.108	0.034	0.000
Srpen	0.000	0.044	0.000	0.606	0.238	0.108	0.044	0.000
Září	1.922	0.140	2.062	0.528	0.245	0.111	0.000	0.000
Říjen	3.488	0.285	3.773	0.403	0.253	0.115	0.000	0.000
Listopad	5.220	0.331	5.552	0.232	0.261	0.118	0.147	0.028
Prosinec	6.486	0.339	6.825	0.207	0.267	0.121	0.180	0.059
Celkem	40.485	2.297	42.639	5.375	3.033	1.377	0.672	0.152

Tabulka 26: Roční průběh zásobování objektu energií

Energie dodaná kotlem	MWh	42.64
Účinnost přeměny	-	0.90
Chemická energie v peletách	MWh	47.22
Výhřevnost pelet	MJ/kg	16.50
Výhřevnost pelet	MWh/kg	4.58E-03
Hmotnost pelet	t	10.30
Měrná cena za pelety	Kč/t	7360.00
Celková cena za pelety	tis. Kč	75.8
Množství práce	h	4.00
Měrná cena práce	Kč/h	150.00
Celková cena za práci	tis. Kč	0.60
Celkem NT	MWh	0.67
Celkem VT	MWh	0.15
Poplatky za distribuci	tis. Kč	0.48
Měsíční poplatky celkem ročně	tis. Kč	6.57
Daň z el. sys. Služby. podpora oze	tis. Kč	0.63
Cena silové elektřiny ve VT	Kč/MWh	3797
Cena silové elektřiny v NT	Kč/MWh	2202
Celková cena za elektřinu	tis. Kč	9.7
Roční provozní výdaje	tis. Kč	86.2

Tabulka 27: Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií

Varianta	Dez dotace	S dotací
NPV [tis. Kč]	-1593	-1493
RCF [tis. Kč]	-119	-101

Tabulka 28: Tabulka ukazatelů ekonomické efektivnosti uvažované varianty

9.4.3 Vytápění kotlem na pelety, ohřev vody kombinovaným bojlerem, bez FV systému, se zateplením

Tato varianta počítá s instalací kotle na dřevěné pelety a zateplením objektu. Ukazatele ekonomické efektivnosti lze určit z následujících tabulek:

Veličina:	E_V	E_{Ov}	E_{DK}	E_{DNT}
Jednotka	MWh	MWh	MWh	MWh
Leden	3.470	0.341	3.811	0
Únor	2.981	0.335	3.316	0
Březen	2.643	0.331	2.975	0
Duben	1.800	0.322	2.121	0
Květen	0.939	0.312	1.251	0
Červen	0.000	0.306	0.000	0.306
Červenec	0.000	0.302	0.000	0.302
Srpen	0.000	0.303	0.000	0.303
Září	0.973	0.312	1.285	0
Říjen	1.766	0.321	2.087	0
Listopad	2.643	0.331	2.975	0
Prosinec	3.284	0.339	3.623	0
Celkem	20.500	3.856	23.445	0.911

Tabulka 29: Roční průběh zásobování objektu energií

Energie dodaná kotlem	MWh	23.44
Účinnost přeměny	-	0.90
Chemická energie v peletách	MWh	25.96
Výhřevnost pelet	MJ/kg	16.50
Výhřevnost pelet	MWh/kg	4.58E-03
Hmotnost pelet	t	5.66
Měrná cena za pelety	Kč/t	7360.00
Celková cena za pelety	tis. Kč	41.7
Množství práce	h	4.00
Měrná cena práce	Kč/h	150.00
Celková cena za práci	tis. Kč	0.60
Ohřev vody elektřinou v NT	MWh	0.91
Ostatní spotřebiče NT	MWh	1.38
Celkem NT	MWh	2.29
Ostatní spotřebiče VT	MWh	3.03
Poplatky za distribuci	tis. Kč	7.09
Měsíční poplatky celkem ročně	tis. Kč	6.57
Daň z el.. sys. Služby, podpora oze	tis. Kč	4.10
Cena silové elektřiny ve VT	Kč/MWh	3797
Cena silové elektřiny v NT	Kč/MWh	2202
Celková cena za elektřinu	tis. Kč	34.3
Roční provozní výdaje	tis. Kč	76.6

Tabulka 30: Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií

Varianta	Dez dotace	S dotací
NPV [tis. Kč]	-1436	-1336
RCF [tis. Kč]	-108	-103

Tabulka 31: Tabulka ukazatelů ekonomické efektivnosti uvažované varianty

9.4.4 Vytápění kotlem na pelety, ohřev vody kombinovaným bojlerem, s FV systémem a zateplením

Tato varianta počítá s instalací kotle na dřevěné pelety a provedením obou podpůrných opatření. Ukazatele ekonomické efektivnosti lze zjistit z následujících tabulek:

Veličina:	E_V	E_{Ov}	E_{DK}	E_{FV}	E_{SVT}	E_{SNT}	E_{DNT}	E_{DVT}
Jednotka	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Leden	3.470	0.341	3.811	0.204	0.268	0.122	0.122	0.065
Únor	2.981	0.335	3.316	0.304	0.264	0.120	0.080	0.000
Březen	2.643	0.232	2.876	0.478	0.261	0.118	0.000	0.000
Duben	1.800	0.075	1.874	0.614	0.253	0.115	0.000	0.000
Květen	0.939	0.075	1.014	0.593	0.245	0.111	0.000	0.000
Červen	0.000	0.065	0.000	0.591	0.241	0.109	0.065	0.000
Červenec	0.000	0.034	0.000	0.614	0.238	0.108	0.034	0.000
Srpen	0.000	0.044	0.000	0.606	0.238	0.108	0.044	0.000
Září	0.973	0.140	1.113	0.528	0.245	0.111	0.000	0.000
Říjen	1.766	0.285	2.051	0.403	0.253	0.115	0.000	0.000
Listopad	2.643	0.331	2.975	0.232	0.261	0.118	0.147	0.028
Prosinec	3.284	0.339	3.623	0.207	0.267	0.121	0.180	0.059
Celkem	20.500	2.297	22.654	5.375	3.033	1.377	0.672	0.152

Tabulka 32: Roční průběh zásobování objektu energií

Energie dodaná kotlem	MWh	22.65
Účinnost přeměny	-	0.90
Chemická energie v peletách	MWh	25.09
Výhřevnost pelet	MJ/kg	16.50
Výhřevnost pelet	MWh/kg	4.58E-03
Hmotnost pelet	t	5.47
Měrná cena za pelety	Kč/t	7360.00
Celková cena za pelety	tis. Kč	40.3
Množství práce	h	4.00
Měrná cena práce	Kč/h	150.00
Celková cena za práci	tis. Kč	0.60
Celkem NT	MWh	0.67
Celkem VT	MWh	0.15
Poplatky za distribuci	tis. Kč	0.48
Měsíční poplatky celkem ročně	tis. Kč	6.57
Daň z el. sys. Služby. podpora oze	tis. Kč	0.63
Cena silové elektřiny ve VT	Kč/MWh	3797
Cena silové elektřiny v NT	Kč/MWh	2202
Celková cena za elektřinu	tis. Kč	9.7
Roční provozní výdaje	tis. Kč	50.6

Tabulka 33: Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií

Varianta	Dez dotace	S dotací
NPV [tis. Kč]	-1011	-911
RCF [tis. Kč]	-104	-73

Tabulka 34: Tabulka ukazatelů ekonomické efektivnosti uvažované varianty

9.5 Tepelné čerpadlo

V této kapitole jsou z hlediska ekonomické efektivnosti zhodnoceny dvě varianty: Vytápění a ohřev vody tepelných čerpadlem pro zateplený objekt bez fotovoltaického systému a vytápění a ohřev vody tepelných čerpadlem pro zateplený objekt s fotovoltaickým systémem. Při použití této varianty by uvažovaný objekt spadl do distribuční sazby D57d s následujícími složkami celkové ceny dodané elektrické energie:

D57d		
Položka	Jednotka	Cena [Kč]
Cena za dodávku VT	Kč/MWh	3900
Cena za dodávku NT	Kč/MWh	2968
Cena za distribuci VT	Kč/MWh	288.67
Cena za distribuci NT	Kč/MWh	229
Platba za jistič	Kč/měsíc	387
Daň z elektřiny	Kč/MWh	34.24
Cena za sys. Služby	Kč/MWh	137.37
Cena za činnost operátora	Kč/měsíc	5.08
Podpora OZE dle jističe	Kč/měsíc	358.25
Podpora OZE dle spotřeby	Kč/MWh	598

Tabulka 35: Složky celkové ceny elektrické energie [33]

Při výpočtech spotřeby ostatních elektrospotřebičů v objektu je bráno v potaz, že NT pro distribuční sazbu D57d trvá 20h denně, VT poté 4h denně. Ohřev vody bude probíhat pomocí TČ na teplotu 35°C, aby byla dosažena co nejvyšší hodnota topného faktoru. Další ohřev teplé vody potom bude zajišťovat kombinovaný bojler na teplotu 45°C.

V rámci přehlednosti tabulek a vypočtených údajů jsou v této sekci použity následující zkratky:

E_V	...	Energie vynaložená na vytápění objektu [MWh]
E_{Ov}	...	Energie vynaložená na ohřev vody tepelným čerpadlem [MWh]
TF	...	Topný faktor tepelného čerpadla [-]
E_D	...	Energie vynaložená na ohřev vody elektrickým bojlerem [MWh]
E_{TC}	...	Energie vynaložená na pohon tepelného čerpadla [MWh]
E_{FV}	...	Energie dodaná do objektu fotovoltaickým systémem [MWh]
E_{SVT}	...	Energie spotřebovaná elektrospotřebiči ve vysokém tarifu [MWh]
E_{SNT}	...	Energie spotřebovaná elektrospotřebiči v nízkém tarifu [MWh]
E_{DNT}	...	Energie dodaná do objektu v nízkém tarifu [MWh]
E_{DVT}	...	Energie dodaná do objektu ve vysokém tarifu [MWh]

9.5.1 Vytápění zatepleného objektu tepelným čerpadlem bez FV systému

V této variantě je uvažováno vytápění a ohřev vody pro spotřebu objektu tepelným čerpadlem. Tepelné čerpadlo ohřívá vodu na 35°C, aby bylo dosaženo co nejvyššího topného faktoru. Je brán v potaz zvýhodněný tarif pro tepelná čerpadla D57d. Ekonomickou efektivnost této varianty vytápění lze zjistit z následujících tabulek:

Veličina:	E_V	E_{Ov}	TF	E_D	E_{TC}	E_{SVT}	E_{SNT}
Jednotka	MWh	MWh	-	MWh	MWh	MWh	MWh
Leden	3.470	0.141	3.446	0.05	1.048	0.134	0.305
Únor	2.981	0.136	3.976	0.05	0.784	0.132	0.300
Březen	2.643	0.132	4.341	0.05	0.639	0.130	0.297
Duben	1.800	0.122	5.254	0.05	0.366	0.126	0.290
Květen	0.939	0.112	6.186	0.05	0.170	0.123	0.283
Červen	0.000	0.107	6.697	0.05	0.016	0.120	0.278
Červenec	0.000	0.103	7.062	0.05	0.015	0.119	0.275
Srpen	0.000	0.104	6.971	0.05	0.015	0.119	0.276
Září	0.973	0.113	6.149	0.05	0.177	0.123	0.283
Říjen	1.766	0.122	5.291	0.05	0.357	0.126	0.290
Listopad	2.643	0.132	4.341	0.05	0.639	0.130	0.297
Prosinec	3.284	0.139	3.647	0.05	0.939	0.133	0.303
Celkem	20.500	1.463		0.585	5.164	1.517	3.479

Tabulka 36: Roční průběh zásobování objektu energií

Celkem NT	MWh	8.64
Celkem VT	MWh	1.52
Poplatky za distribuci	tis. Kč	2.42
Měsíční poplatky celkem ročně	tis. Kč	9.00
Daň z el. sys. Služby. podpora oze	tis. Kč	7.82
Cena silové elektřiny ve VT	Kč/MWh	3900
Cena silové elektřiny v NT	Kč/MWh	2968
Celková cena za elektřinu	tis. Kč	50.8
Roční provozní výdaje	tis. Kč	50.8

Tabulka 37: Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií

Varianta	Dez dotace	S dotací
NPV [tis. Kč]	-1092	-992
RCF [tis. Kč]	-87	-68

Tabulka 38: Tabulka ukazatelů ekonomické efektivnosti uvažované varianty

9.5.2 Vytápění zatepleného objektu tepelným čerpadlem s FV systémem

Tato varianta počítá s využitím obou podpůrných systémů (instalace střešního fotovoltaického systému i zateplení objektu). Fotovoltaický systém je v této variantě používán i na pohon tepelného čerpadla. Ukazatele ekonomické efektivnosti této varianty lze zjistit z následujících tabulek:

Veličina:	E_V	E_{Ov}	TF	E_D	E_{TC}	E_{FV}	E_{SVT}	E_{SNT}	E_{DNT}	E_{DVT}
Jednotka	MWh	MWh	-	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Leden	3.470	0.141	3.446	0.05	1.048	0.204	0.134	0.305	1.332	0
Únor	2.981	0.136	3.976	0.05	0.784	0.304	0.132	0.300	0.961	0
Březen	2.643	0.132	4.341	0.05	0.639	0.478	0.130	0.297	0.638	0
Duben	1.800	0.122	5.254	0.05	0.366	0.614	0.126	0.290	0.217	0
Květen	0.939	0.112	6.186	0.05	0.170	0.593	0.123	0.283	0.031	0
Červen	0.000	0.107	6.697	0.05	0.016	0.591	0.120	0.278	0.000	0
Červenec	0.000	0.103	7.062	0.05	0.015	0.614	0.119	0.275	0.000	0
Srpen	0.000	0.104	6.971	0.05	0.015	0.606	0.119	0.276	0.000	0
Září	0.973	0.113	6.149	0.05	0.177	0.528	0.123	0.283	0.102	0
Říjen	1.766	0.122	5.291	0.05	0.357	0.403	0.126	0.290	0.419	0
Listopad	2.643	0.132	4.341	0.05	0.639	0.232	0.130	0.297	0.884	0
Prosinec	3.284	0.139	3.647	0.05	0.939	0.207	0.133	0.303	1.217	0
Celkem	20.500	1.463		0.585	5.164	5.375	1.517	3.479	5.799	0.000

Tabulka 39: Roční průběh zásobování objektu energií

Celkem NT	MWh	5.80
Celkem VT	MWh	0.00
Poplatky za distribuci	tis. Kč	1.33
Měsíční poplatky celkem ročně	tis. Kč	9.00
Daň z el., sys. Služby, podpora oze	tis. Kč	4.46
Cena silové elektřiny ve VT	Kč/MWh	3900
Cena silové elektřiny v NT	Kč/MWh	2968
Celková cena za elektřinu	tis. Kč	32.0
Roční provozní výdaje	tis. Kč	32.0

Tabulka 40: Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií

Varianta	Dez dotace	S dotací
NPV [tis. Kč]	-785	-645
RCF [tis. Kč]	-91	-57

Tabulka 41: Tabulka ukazatelů ekonomické efektivnosti uvažované varianty

9.6 Přehled vypočítaných hodnot

Tato podsekce nabízí přehled vypočítaných hodnot ročního ekvivalentního hotovostního toku pro jednotlivé varianty zásobování objektu energií a následné vyhodnocení ekonomicky nejefektivnější varianty.

Varianta	Kotel na dřevěné pelety		Tepelné čerpadlo	
	bez dotace	s dotací	bez dotace	s dotací
Podpůrný systém	[tis. Kč]	[tis. Kč]	[tis. Kč]	[tis. Kč]
žádný	-123	-117		
FV systém	-119	-101		
Zateplení	-108	-103	-87	-68
FV systém a zateplení	-104	-73	-91	-57

Tabulka 42: Vypočítané RCF pro jednotlivé varianty zásobování energií

Z tabulky vypočítaných ročních ekvivalentních hotovostních toků je patrné, že ekonomicky nejefektivnější variantou zásobování objektu energií v současných cenách je bez získání dotace varianta tepelného čerpadla společně se zateplením objektu.

V případě získání dotace je ekonomicky nejefektivnější varianta tepelného čerpadla se zateplením objektu a fotovoltaickým systémem. Tato varianta je nejlepší také z pohledu ekologického, poněvadž má nejnižší roční spotřebu energie. Má však nejvyšší investiční výdaje. Při aktuální situaci na trhu - vysoká základní úroková sazba, polovodičová krize, energetická krize, doporučuje spousta investorů investici do vlastní nemovitosti. Tato varianta zásobování energií uvažovaného rodinného domu bude tedy majiteli domu doporučena.

9.7 Další doporučení ohledně spotřeby energie

Každý zdroj centrálního vytápění (ať už to bude peletový kotel, či tepelné čerpadlo) bude vždy levnější na provoz, než vytápění elektrickým přímotopem. Tato skutečnost je zapříčiněna faktem, že elektrina je velmi ušlechtilý a univerzální zdroj energie, který lze využít nejen k vytápění, ale například k vytváření přidané hodnoty poháněním výrobní linky. Z tohoto důvodu se doporučuje majiteli nemovitosti změnit způsob vytápění toalety ve 2. nadzemním podlaží z elektrického na centrální vytápění.

Zakoupení a instalace myčky na nádobí do bytu ve 2. nadzemním podlaží - dle [34] ušetří myčka na nádobí ročně až 230 hodin času, který by byl jinak vynaložen na mytí nádobí. Myčka kromě toho pro svůj program spotřebuje i méně vody, než při běžném mytí nádobí pod tekoucí vodou a tím pádem i méně energie na ohřev vody [34].

Dílna v prostorech sklepa je v topné sezóně občasně vytápěna kamny na dřevo. V této práci nebylo počítáno se záměnou tohoto zdroje vytápění, neboť objekt je ve sklepních prostorech částečně zapuštěn do země a velmi špatně izolován. Souvislé vytápění takového prostoru na komfortní teplotu by tak ročně spotřebovalo nezanedbatelné množství energie a při občasném vytápění by se pomocí standardního radiátoru nestihl vzduch v prostorech dílny ohřát po dobu pobytu. Z tohoto důvodu je vhodné kamna na dřevo ponechat.

Mnoho spotřebičů je již v dnešní době vybaveno funkcí oddáleného zapnutí. Z vyúčtování energie rodinného domu je patrné, že spotřebiče elektrické energie pracují zhruba stejnou dobu ve vysokém, jako v nízkém tarifu po odečtení spotřeby bojleru. Doporučuje se tedy používat funkci oddáleného zapnutí na automatické pračce tak, aby prací cyklus proběhl v době, kdy je aktivní nízký tarif.

10 Závěr

V této práci byla charakterizována spotřeba energie rodinného domu v Plané nad Lužnicí. Byly stanoveny denní diagramy zatížení, rozdělení spotřeby energie podle druhu jejího vynaložení a byla stanovena celková roční spotřeba energie rodinného domu.

Dále byl stanoven ztrátový tepelný výkon pro nejchladnější den v roce dle výpočtových údajů pro topnou sezónu pro zateplený a nezateplený objekt na základě údajů o složení jeho obvodové zdi a vlastnostech osazených oken. Byla určena celková spotřeba energie na vytápění z vypočtených tepelných vlastností obvodové zdi pro zateplený a nezateplený objekt.

Byly charakterizovány možné alternativní varianty zásobování objektu energií a jejich možnosti dotace z dotačního programu Nová zelená úsporám. Byly navrženy podpůrné systémy pro zásobování objektu energií (zateplení objektu a instalace fotovoltaického systému). Byly vybrány potenciální dodavatelské firmy a stanovena výše investičních výdajů pro každou možnost vytápění objektu a variantu podpůrného systému.

V poslední části práce byly navržené možnosti zásobování objektu energií porovnány z hlediska ekonomické efektivnosti v případě vlastního financování a v případě získání dotace. Jako ekonomicky nejefektivnější varianta byl vybrán způsob vytápění a ohřevu vody tepelným čerpadlem v kombinaci se zateplením objektu a fotovoltaickým systémem. Velkou výhodou tohoto systému je, že je schopen teplo do objektu nejen dodávat, ale také odebírat. Tato varianta zásobování energií má nejnižší roční provozní výdaje a je tak optimální nejen z hlediska ekonomického, ale i z hlediska ekologického.

Reference

- [1] Projekční podklady a pomůcky [online]. [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=2>
- [2] Výňatek z normy ČSN EN 12831 [online]. [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/tz21/prednasky/tz21-02.pdf>
- [3] Pelety Jan Pastorek [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: www.pelety.cz
- [4] Tepelná čerpadla [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: www.tepelnacerpadlaprolidi.cz
- [5] Zemní plyn - spalné teplo a další vlastnosti [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1963-spalovaci-vlastnosti-zp-i>
- [6] Tepelná čerpadla [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [7] Spalné teplo uhlí – Doly Bílina [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: https://www.sd-bilinskeuhli.cz/dokumenty/Spalne_Teplo_11.1.2022.pdf
- [8] Výběr událostí od ohlášení konce činnosti skupiny Bohemia Energy [online]. 1. 11. 2021 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/vyber-udalosti-od-ohlaseni-konce-cinnosti-skupiny-bohemia-energy>
- [9] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [10] Co to je větrání s rekuperací tepla [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/vetrani-s-rekuperaci-tepla>
- [11] VYMĚTALÍK, Vladimír. Návrh obvodové stěny s vnějším tepelněizolačním kompozitním systémem [online]. 12.11.2009 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/22130-navrh-obvodove-steny-s-vnejsim-tepelneizolacnim-kompozitnim-systemem>
- [12] Vlastnosti plastových oken OTHERM EFEKT [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.otherm.cz/1489-efekt-2.html>
- [13] HODBOŮ, Josef. Řešení radonové zátěže řízeným větráním – bytové domy Radotín [online]. 16.10.2019 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/19715-reseni-radonove-zateze-rozenym-vetranim-bytove-domy-radotin>
- [14] Výpočet prostupu tepla vícevrstvou konstrukcí a průběhu teplot v konstrukci [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-vypocet-prostupu-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubehu-teplot-v-konstrukci>
- [15] Vyberete si na fasádu bílý, šedý nebo šedo-bílý polystyren? [online]. 2020 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/20933-vyberete-si-na-fasadu-bily-sedy-nebo-sedo-bily-polystyren>
- [16] NÁVOD K OBSLUZE A INSTALACI KOTLE VIADRUS U22 C [online]. 2007 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: https://www.viadrus.cz/doc/cms_library/manual_u22.cz-133.pdf
- [17] MAGDALÉNA, Milostná. Jakých kotlů se týká výměna kotle 2022 [online]. 12.08.2020 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.opop.cz/pouzivani-kotle-po-roce-2022>

- [18] FÍK, Josef. Plynové spotřebiče (I) [online]. 09.06.2004 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/2019-plynove-spotrebice-i>
- [19] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. In: 2012. ročník 2012. Dostupné také z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-201-2012-sb-o-ochrane-ovzdusi>
- [20] ČTK. Vláda posunula zákaz provozu starých kotlů, domácnosti je mohou používat do roku 2024 [online]. In: . 06. 04. 2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/domaci/vlada-posunula-termin-zakazu-provozu-starych-kotlu-o-dva-rok/r~081c85f8b5d711eca06bac1f6b220ee8/>
- [21] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČESKÉ REPUBLIKY. Nová zelená úsporám [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>
- [22] Jak funguje kondenzační kotel? [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-funguje-kondenzacni-kotel.html>
- [23] ŠÁMALOVÁ, Michaela. Jaká je cena a postup zhotovení plynové přípojky [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://odpovedi.usetreno.cz/support/solutions/articles/44002027245-navod-jak%C3%A1-je-cena-a-postup-zhotoven%C3%AD-plynov%C3%A9-p%C5%99%C3%ADpojky->
- [24] HODBOŤ, Josef. Kotel na pelety do rodinného domu [online]. 04.12.2018 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/18331-kotel-na-pelety-do-rodinneho-domu>
- [25] ZILVAR, Jiří. Střešní fotovoltaika – jak funguje a co od ní očekávat? [online]. 13.4.2021 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22067-stresni-fotovoltaika-jak-funguje-a-co-od-ni-ocekavat>
- [26] HRBÁČEK, Jan. Sbohem čadícím komínům. Stoupá zájem o topení dřevěnými peletami. Loni se jich u nás vyrobilo už 500 tisíc tun. [online]. 16.03.2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/sbohem-kourici-kominy-stoupa-zajem-o-topeni-drevenymi-peletami-loni-se-jich-u-nas/vyrobilo-uz-500-tisic-tun/>
- [27] Návod k obsluze kotle ATMOS D20P [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/produkt/automaticke-kotle-na-pelety/d14p/>
- [28] [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.solars.cz/product-page/sol%C3%A1rn%C3%AD-panel-as-m1442-h-450-m6>
- [29] EUROPEAN COMMISSION. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [30] ZATEPLENÍ, REVITALIZACE PEKSTAV, S.R.O. Cena zateplení fasády za 1 m2 bytových domů polystyrenem, minerální vatou [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.pekstav.cz/cenik-zatepleni/>
- [31] 9kW – IVT AIR X 90 [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.ivt-heatingsystems.cz/air-x/ivt-air-x-90/>
- [32] TEPELNÉ ČERPADLO IVT AIR X [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.eurosystemy.cz/akcni-nabidky/podlahove-topeni-akce-tepelna-cerpadla-ivt.php>

- [33] E.ON. Ceník ElektřinaTrend KVĚTEN [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/getmedia/7492e244-9198-4831-9cc6-bc98cea16344/Cenik-ElektřinaTrend-KVETEN-k-1-5-2022-distribucni-uzemi-EG-D.pdf?ext=.pdf>
- [34] MACDONALD, FIONA. Here's Why You Need to Stop Washing Your Dishes by Hand [online]. 10. 06. 2018 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.sciencealert.com/is-it-better-to-wash-dishes-by-hand-or-dishwasher-environment-science>

Seznam obrázků

1	Uvažovaný objekt	1
2	Půdorys sklepních prostor	2
3	Půdorys 1. podlaží	3
4	Půdorys 2. podlaží	4
5	Kotel se zásobníkem	5
6	Graf celkové roční spotřebované energie v rodinném domě	8
7	Graf průběžné měsíční spotřeby elektrické energie v rodinném domě	8
8	Graf průběžné měsíční spotřeby energie na ohřev vody v rodinném domě	9
9	Graf průběžné měsíční spotřeby energie na vytápění rodinného domu	9
10	Denní diagram zatížení pro zimní období	10
11	Denní diagram zatížení pro období přechodu (jaro, podzim)	10
12	Denní diagram zatížení pro letní období	11
13	Detail vyúčtování spotřeby elektrické energie	12
14	Celkové tepelné ztráty [2]	14
15	Tepelné ztráty prostupem [2]	15
16	Prostup tepla nezateplenou obvodovou zdí [14]	18
17	(a) Škvárobetonová tvárnice [13], (b) Struktura okna EFEKT [12]	19
18	Prostup tepla zateplenou obvodovou zdí [14]	20
19	Kotel na pelety s automatickým podavačem, [24]	27
20	Údaje o exportu a importu dřevěných pelet na český trh [26]	28
21	Navrhované rozložení fotovoltaických panelů na domě	33
22	Graf roční energie dodané fotovoltaickými panely instalovanými na střeše po měsících. Data pro výpočet získána z [29].	34
23	Graf roční energie dodané fotovoltaickými panely instalovanými na fasádě po měsících. Data pro výpočet získána z [29].	34
24	Graf roční energie dodané systémem fotovoltaických panelů po měsících. Data pro výpočet získána z [29].	35
25	Graf energie získané z fotovoltaických panelů po hodinách pro průměrný lednový den (zimní období). Data pro výpočet získána z [29].	35
26	Graf energie získané z fotovoltaických panelů po hodinách pro průměrný dubnový den (období přechodu). Data pro výpočet získána z [29].	36
27	Graf energie získané z fotovoltaických panelů po hodinách pro průměrný červený den (letní období). Data pro výpočet získána z [29].	36
28	Graf spotřeby elektrické energie domu, dodané energie z fotovoltaických panelů, jejich rozdílů a akumulace rozdílů pro zimní období.	37
29	Graf spotřeby elektrické energie domu, dodané energie z fotovoltaických panelů, jejich rozdílů a akumulace energie v akumulátorovém článku pro období přechodu.	38
30	Graf spotřeby elektrické energie domu, dodané energie z fotovoltaických panelů, jejich rozdílů a akumulace energie v akumulátorovém článku pro letní období.	38

Seznam tabulek

1	Vybrané parametry kotle VIADRUS U22 4C [16]	5
2	Seznam spotřebičů ve sklepních prostorech	6
3	Seznam spotřebičů v 1. nadzemním podlaží	7
4	Seznam spotřebičů ve 2. nadzemním podlaží	7
5	Seznam spotřebičů v prostorech půdy	7
6	Základní informace o topné sezóně pro danou lokalitu [9]	13
7	Základní přehled veličin [2]	14
8	Obvyklá teplota místností [2]	14
9	Hygienické minimum větrání [2]	16
10	Tepelné vlastnosti použitého zdiva [14]	18
11	Vlastnosti různých provedení EPS [15]	19
12	Požadavky na obvodové zdi [14]	20
13	Tepelné vlastnosti použitého zdiva [14]	20
14	Podpora různých variant zdroje tepla [21]	24
15	Podpora různých variant fotovoltaických systémů [21]	25
16	Podpora různých variant ohřevu vody [21]	25
17	Vybrané parametry kotle ATMOS D14P [27]	29
18	Investiční výdaje na instalaci kotle na dřevěné pelety [27]	29
19	Vybrané technické parametry tepelného čerpadla IVT AIR X 90 [31]	31
20	Přehled investičních výdajů na výměnu stávajícího způsobu vytápění a ohřevu teplé vody na tepelné čerpadlo, ceny jsou dostupné z [32]	31
21	Vybrané parametry fotovoltaického panelu, [28]	32
22	Složky celkové ceny elektřiny [33]	42
23	Roční průběh zásobování objektu energií	43
24	Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií	43
25	Tabulka ukazatelů ekonomické efektivity uvažované varianty	44
26	Roční průběh zásobování objektu energií	44
27	Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií	45
28	Tabulka ukazatelů ekonomické efektivity uvažované varianty	45
29	Roční průběh zásobování objektu energií	46
30	Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií	46
31	Tabulka ukazatelů ekonomické efektivity uvažované varianty	47
32	Roční průběh zásobování objektu energií	47
33	Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií	48
34	Tabulka ukazatelů ekonomické efektivity uvažované varianty	48
35	Složky celkové ceny elektrické energie [33]	49
36	Roční průběh zásobování objektu energií	50
37	Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií	50
38	Tabulka ukazatelů ekonomické efektivity uvažované varianty	50
39	Roční průběh zásobování objektu energií	51
40	Roční provozní výdaje na zásobování objektu energií	51
41	Tabulka ukazatelů ekonomické efektivity uvažované varianty	51
42	Vypočítané RCF pro jednotlivé varianty zásobování energií	52